


ISBN 978-93-83936-02-1








ఎలా తెలుసుకున్నాం? -31

# కాంతి వేగం
## ఎలా తెలుసుకున్నాం

ఐజాక్ అసిమోవ్

అనువాదం : డా॥ వి. శ్రీనివాస చక్రవర్తి



మంచి పుస్తకం



విజ్ఞాన ప్రచురణలు

*ఎలా తెలుసుకున్నాం? - 31*

# కాంతి వేగం

## ఎలా తెలుసుకున్నాం

ఐజాక్ అసిమోవ్

అనువాదం : డా॥ వి. శ్రీనివాస చక్రవర్తి



విజ్ఞాన ప్రచురణలు



మంచి పుస్తకం

**How We Found Out About The Speed of Light? by Isaac Asimov**
*ఎలా తెలుసుకున్నాం? - 31*

## కాంతివేగం ఎలా తెలుసుకున్నాం

రచయిత : ఐజాక్ అసిమోవ్
అనువాదం : డా॥ వి. శ్రీనివాస చక్రవర్తి
మొదటి ముద్రణ : ఏప్రిల్, 2014
రెండవ ముద్రణ : జనవరి, 2018
ప్రతుల సంఖ్య : 1000

**వెల : రూ. 25/-**

ISBN No. 978-93-83936-02-1

పచురణ, ప్రతులకు :
**విజ్ఞాన ప్రచురణలు**
**ప్రజా సైన్స్ వేదిక**
జి. మాల్యాద్రి, ప్రచురణల విభాగం
162, విజయలక్ష్మీనగర్, నెల్లూరు - 524 004,
ఫోన్: 94405 03061

**మంచి పుస్తకం**
12-13-439, వీధి నెం. 1,
తార్నాక, సికింద్రాబాద్ - 500 017.
ఫోను: 94907 46614
email: info@manchipustakam.in
website: www.manchipustakam.in

ముద్రణ :
చరిత ఇంప్రెషన్స్, హైదరాబాద్-20. ఫోన్: 040-2767 8411

## విషయ సూచిక

## మీరు ఎప్పుడైనా మెరుపును చూశారా?

మెరుపు అంటే మబ్బు నుండి మబ్బుకి, మబ్బుల నుండి నేలకి గంతులు వేసే విద్యుచ్ఛక్తే. ఆ విద్యుత్తు గాల్లో ప్రసారం అవుతున్నప్పుడు మెరుపు చుట్టూ ఉండే గాలి తాత్కాలికంగా విపరీతంగా వేడెక్కిపోతుంది. ఆ సమయంలో ఆ గాలి ఉష్ణోగ్రత కొన్ని వేల డిగ్రీల దాకా పెరగొచ్చు. అల వేడెక్కిన గాలి వ్యాకోచిస్తుంది. మెరుపు మటుమాయం కాగానే ఆ గాలి మళ్లీ చల్లబడి సంకోచిస్తుంది. ఇలా అతి తక్కువ కాలంలో గాలి వ్యాకోచించి సంకోచించినప్పుడు శబ్దం పుడుతుంది. దాన్నే మనం ఉరుము అంటాం. కనుక మెరుపు మెరవడం, ఉరుము ఉరమడం – రెండూ "పిడుగు" అనే పరిణామానికి రెండు ముఖాలు. అది జరిగినప్పుడు పుట్టే తీక్షణ కాంతిని మెరుపు అంటాం, అప్పుడు పుట్టిన శబ్దాన్ని ఉరుము అంటాం.

మనకి దగ్గర్లో పిడుగు పడ్డప్పుడు మెరుపు చాలా తీక్షణంగా ఉంటుంది, ఉరుము చప్పుడు కూడా చాలా బిగ్గరగా ఉంటుంది. మెరుపు దూరంగా మెరిసినప్పుడు కాంతిలో తీక్షణత తక్కువగా ఉంటుంది. పైగా శబ్దం లేకుండా మౌనంగా మెరుస్తుంది. కాసేపు ఎదురు చూస్తే అప్పుడు శబ్దం వినిపిస్తుంది. అది మళ్లీ మళ్లీ మారుమోగుతుంది.

మెరుపు దూరంగా మెరిసినప్పుడు ప్రకాశం తక్కువగా ఉండడంలో ఆశ్చర్యం లేదు. అలాగే ఉరుము చప్పుడు కూడా తక్కువ తీవ్రత కలిగి ఉండడం కూడా సబబే. కాని మెరుపుకి, ఉరుముకి మధ్య ఆలస్యం ఎందుకుండాలి?

దానికి కారణం శబ్దం ఒక చోటి నుండి మరో చోటికి ప్రయాణించడానికి సమయం పడుతుంది. శబ్దం గంటకి 740 మైళ్ల వేగంతో ప్రయాణిస్తుంది. అంటే సెకనుకి 1086 అడుగుల దూరం ప్రయాణిస్తుంది. ఐదు సెకనులలో ఓ మైలు



దూరం ప్రయాణిస్తుంది. మైలు దూరంలో పిడుగు పడితే ఐదు సెకన్ల తరువాత అది మనకి వినిపిస్తుంది. రెండు మైళ్ల దూరంలో ఐతే పది సెకన్లు పడుతుంది.

కాని మెరుపు నుండి వచ్చే కాంతి సంగతేంటి? దానికి కూడా మనని చేరడానికి సమయం పడుతుందా?

పట్టొచ్చేమో. కాని బహుశ అది శబ్దం కన్నా చాల వేగంగా ప్రయాణిస్తుందేమో. అందుకే ఉరుము వినిపించడానికన్నా ఎంతో ముందే మనకి మెరుపు కనిపిస్తుంది.

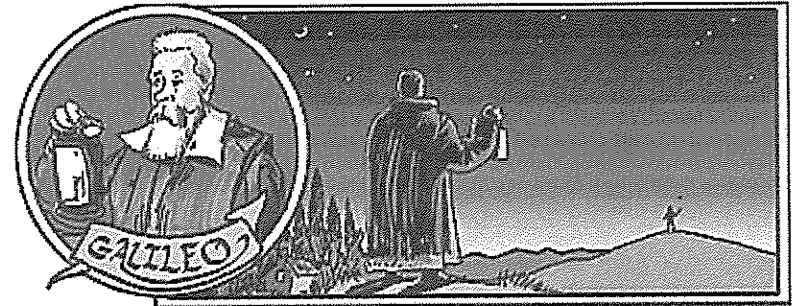
కాంతి ఎంత వేగంగా ప్రయాణిస్తుందో కొలవగలమా?

కొలవలేమనే ప్రాచీనకాలంలో ప్రజలు అనుకునేవాళ్లు. కాంతి ఎంత దూరమైనా లిప్తలో ప్రయాణించేస్తుందని కొందరు పండితులు అనుకునేవాళ్లు ఆ రోజుల్లో. అంటే దాని వేగం అపరిమితం అన్నమాట. అంటే మనకి తెలిసిన మరే ఇతర వేగం కన్నా ఆ వేగం ఎక్కువ.

పోనీ కాంతి వేగం అపరిమితం కాకపోయినా దాని వేగం మనం కొలవలేనంత ఎక్కువ అని అనుకున్నవాళ్లు ఎందరో ఉన్నారు.

కాంతి వేగాన్ని కొలవడానికి ప్రయత్నించిన వాళ్లలో మొదటి వాడు ఇటలీకి చెందిన మేటి శాస్త్రవేత్త గెలీలియో (1564–1642). ఈ ప్రయత్నం అతడు 1630లో చేశాడు.

ఈ ప్రయోగంలో గెలీలియోకి తన అనుచరుడు సహాయపడ్డాడు. ఇద్దరూ రెండు లాంతర్లు పట్టుకుని బయల్దేరారు. ఇవి ప్రత్యేకమైన లాంతర్లు. ఇందులో కొవ్వొత్తి దీపం నుండి వచ్చే కాంతి ఓ చిన్న కిటికీ లోంచి బయటికి వస్తుంది. ఆ కిటికీ మూస్తే కాంతి పైకి రాదు. ఆ కిటికీని వేగంగా మూసి తెరుస్తుంటే లాంతరులోంచి వచ్చే కాంతి మెరుపుల్లా (flash) పైకి వస్తుంటుంది. చిమ్మచీకటిగా ఉన్న ఓ రాత్రి గెలీలియో, తన అనుచరుడు చెరో లాంతరు పట్టుకుని పక్కపక్కగా ఉన్న రెండు



కొండలు ఎక్కారు. కొండ శిఖరం చేరాక ఇద్దరూ తమ లాంతరు కిటికీలు తెరిచి మెరుపులు ప్రకటించాలి. అనుచరుడి మెరుపు కనిపించగానే గెలీలియో తన లాంతరు కిటికీ మూసేయాలి. అలాగే గెలీలియో మెరుపు కనిపించగానే అనుచరుడు తన లాంతరు కిటికీ మూసేస్తాడు.

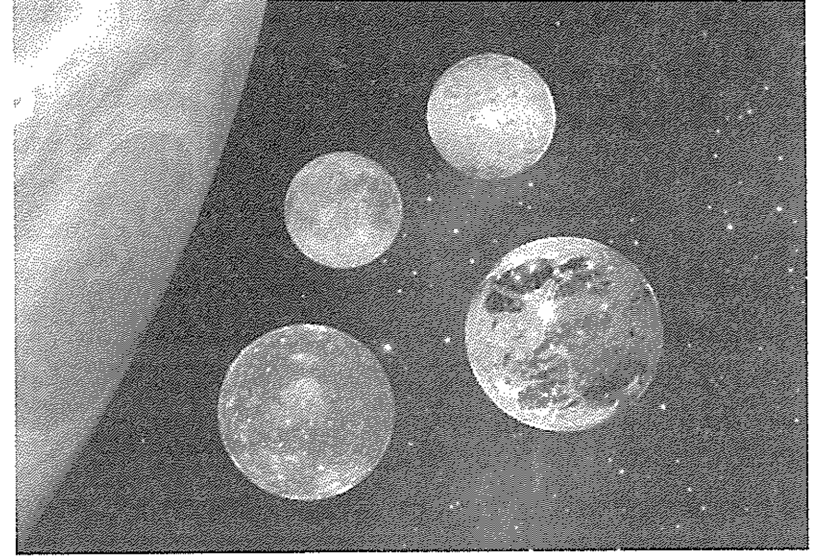
ముందు గెలీలియో లాంతరు తెరిచి మెరుపు ప్రకటించాడు. అవతలి కొండ మీద ఉన్న అనుచరుడు ఆ మెరుపు కనిపించగానే తన లాంతరులోని కాంతిని ప్రకటించాడు. గెలీలియో తను లాంతరులోని కాంతి ప్రకటించడానికి, అవతల తన అనుచరుడు ప్రకటించిన కాంతి కనిపించడానికి మధ్య వ్యవధిని కొలిచాడు. ఇదే ప్రయోగం పదే పదే చేసి వచ్చిన ఫలితానికి సగటు విలువ లెక్కించాడు. అలా వచ్చిన వ్యవధి విలువ కాంతి ఒక కొండ నుండి రెండవ కొండకి ప్రయాణించి తిరిగి రావడానికి పట్టిన సమయంతో సమానం అవుతుందని గెలీలియో ఊహ.

కాని నిజానికి ఆ వ్యవధి కాంతి ప్రయాణించడానికి పట్టే కాలం కన్నా ఎక్కువే అవుతుంది. ఎందుకంటే అందులో కొంత భాగం "స్పందనా కాలం" (reaction time) అవుతుంది. అంటే గెలీలియో నుండి వచ్చిన కాంతిని చూసిన అనుచరుడు, అందుకు స్పందించి తన లాంతరు కిటికీని తెరవడానికి కొంత సమయం పడుతుంది. గెలీలియో కొలిచిన వ్యవధిలో ఈ కాలాన్ని కూడా కలుపుకోవాలి. కాంతి వేగాన్ని కచ్చితంగా కొలవాలంటే ఈ స్పందనా కాలం ఎంతో కొలిచి దాన్ని తొలగించాలి.

దాంతో గెలీలియో పైన చేసిన ప్రయోగాన్ని మరి కాస్త దూరంగా ఉన్న కొండల మీద మళ్లీ చేసి చూశాడు. తన అనుచరుడి స్పందనా కాలం మునుపట్లాగే ఉంటుందని ఊహించాడు గెలీలియో. అయితే ఈ సారి కాంతి మునుపటి కన్నాఅదనపు దూరం ప్రయాణించాలి. కాబట్టి ఈ సారి తను కొలిచిన వ్యవధి మునుపటి వ్యవధి కన్నా కాస్త ఎక్కువై ఉండాలి. ఆ అదనపు వ్యవధికి కారణం కాంతి అదనపు ప్రయాణించాల్సి రావడమే.

తీరా కొలిచి చూస్తే అదనపు వ్యవధి ఉన్నట్టు కనిపించలేదు. కొండలు దగ్గరగా ఉన్నప్పుడు ఎంత వ్యవధి పట్టిందో, దూరంగా ఉన్నప్పుడు కూడా అంతే వ్యవధి పట్టింది. తను కొలిచిన వ్యవధి అంతా వట్టి "స్పందనా కాలం" మాత్రమే. కాంతి ఎంత వేగంగా ప్రయాణించిందంటే అదనపు దూరం ప్రయాణించడానికి అది తీసుకున్న అదనపు కాలం చాలా చాలా చిన్నది. గెలీలియో కొలవగలిగే కాలం కన్నా ఆ కాలం విలువ చాలా చిన్నదన్నమాట. కాంతి వేగం ఎంతో తెలియకపోయినా అది చాలా చాలా ఎక్కువ అని మాత్రం గెలీలియో అర్థం చేసుకోగలిగాడు.





(గెలీలియో చేసిన ప్రయోగంలో ఒక ముఖ్యమైన సమస్య అతడు కాలనిర్ణయానికి వాడిన పద్ధతి. ఆ రోజుల్లో అతి చిన్న వ్యవధులని కొలవడానికి తగిన పరికరాలు ఉండేవి కావు. అప్పటికి ఇంకా మంచి గడియారాలు తయారుకాలేదు.)

అంతరిక్షాన్ని పరిశీలించడానికి 1609లో గెలీలియో మొట్టమొదటి సారిగా టెలిస్కోప్‌ని వాడడం మొదలు పెట్టాడు. ఆ ప్రయోగాలలో బృహస్పతి (Jupiter)కి నాలుగు ఉపగ్రహాలు ఉన్నట్టు గుర్తించాడు. ఈ నాలుగు ఉపగ్రహాలు బృహస్పతి చుట్టూ పరిభ్రమిస్తాయి. ఈ ఉపగ్రహాలు కాసేపు బృహస్పతి ముందుకు వచ్చి, ఆ గ్రహం ముఖం మీదుగా ఒక పక్క నుండి అవతలి పక్కకి దాటుతూ గ్రహం వెనక్కు పోతాయి. అలా గ్రహం వెనకగా అవతలి పక్క నుండి ఇవతలి పక్కకి ప్రయాణించి మళ్లీ గ్రహం ముందుకి వస్తాయి.

ఒక ఉపగ్రహం బృహస్పతి చుట్టూ ఒక చుట్టు చుట్టడానికి పట్టే కాలంలో మార్పు ఉండదు. ఉపగ్రహం బృహస్పతి వెనక్కి వెళ్లినప్పుడు దానికి "గ్రహణం" పట్టింది అని చెప్పుకోవచ్చు. గ్రహణానికి గ్రహణానికి మధ్య వ్యవధి ఒక ప్రత్యేక ఉపగ్రహానికి మారకుండా ఉంటుంది. గ్రహానికి దగ్గరగా ఉండే ఉపగ్రహాల పరిభ్రమణ కాలం తక్కువగా ఉంటుంది. గ్రహానికి దూరం అవుతున్న కొద్దీ పరిభ్రమణ కాలం ఎక్కువ అవుతుంది. ఉదాహరణకి బృహస్పతికి అతి దగ్గరగా ఉండే ఉపగ్రహానికి 1 3/4 రోజులకి ఒక సారి గ్రహణం పడుతుంది. ఆ తరువాత ఉన్న ఉపగ్రహానికి 3

1/2 రోజులకి ఒకసారి గ్రహణం పడుతుంది. ఆ తరువాత ఉండే ఉపగ్రహానికి 7 1/6 రోజులకి ఒకసారి గ్రహణం పడుతుంది. ఇక చివరగా ఉండే ఉపగ్రహానికి 16 3/4 రోజులకి ఒకసారి గ్రహణం పడుతుంది.

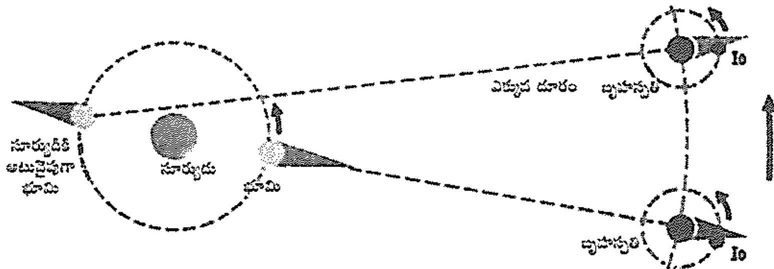
1656లో డచ్ ఖగోళశాస్త్రవేత్త క్రిస్టియన్ హోయ్గెన్జ్ (1629-1695) లోలకం గడియారాన్ని కనిపెట్టాడు. గతంలో గెలీలియో లోలకం మీద చేసిన అధ్యయనాల ఆధారంగా ఇతడు గడియారాన్ని నిర్మించాడు. చరిత్రలోనే అది మొట్టమొదటి కచ్చితమైన గడియారం. ఒక నిముషం వరకు కూడా దాంతో కచ్చితంగా సమయం నిర్ణయించవచ్చు. దాని సహాయంతో బృహస్పతి ఉపగ్రహాల గ్రహణ కాలాలు మొదలైన వ్యవధులని ఎంతో కచ్చితంగా కొలవచ్చు.

ఓలాస్ రోయ్మర్ (1644-1710) అనే మరో డచ్ ఖగోళ శాస్త్రవేత్త ఈ పద్ధతిలో బృహస్పతి ఉపగ్రహాలని అధ్యయనం చేశాడు. తన పరిశీలనలలో అతడికో విచిత్రమైన విషయం కనిపించింది. ఏడాదిలో సగకాలం పాటు గ్రహణాలు నిర్ణీత కాలం కన్నా ఇంకా ఇంకా ఆలస్యం అవుతూ వచ్చాయి. మిగతా సగకాలం పాటు గ్రహణాలు క్రమంగా అనుకున్న దాని కన్నా ముందుగా రావడం కనిపించింది. సగటున చూస్తే గ్రహణాలు ఎప్పుడూ సరైన సమయంలోనే వచ్చేవి. కాని కొన్ని సందర్భాలలో మాత్రం సగటు కన్నా ఇంచుమించు 8 నిముషాలు ముందుగా వచ్చేవి. కొన్ని సార్లు సగటు కన్నా 8 నిముషాలు ఆలస్యంగా వచ్చేవి.

ఇలా ఎందుకు జరిగింది?

సూర్యుడి చుట్టూ భూమి ఏడాదికి ఒకసారి ప్రదక్షిణ చేస్తుంది. భూమి కన్నా బృహస్పతి సూర్యుడికి మరింత దూరంలో ఉన్నాడు కాబట్టి తన ప్రదక్షిణ మరింత విస్తారంగా ఉంటుంది. సూర్యుడి చుట్టూ బృహస్పతి ప్రదక్షిణ కాలం 12 ఏళ్లు.

అంటే సూర్యుడి చుట్టూ బృహస్పతి ఒక ప్రదక్షిణ చేసే సమయంలో భూమి సూర్యుడి చుట్టూ 12 ప్రదక్షిణలు చేస్తుంది అన్నమాట. అంటే ఏడాదిలో సగకాలం






పాటు భూమి సూర్యుడికి బృహస్పతి ఉన్న వైపే ఉంటుంది. మిగతా సగకాలం భూమి సూర్యుడికి బృహస్పతి ఉన్న వైపుకి అవతలి వైపు ఉంటుంది.

భూమి సూర్యుడికి బృహస్పతి వున్న వైపే వుంటే, భూమికి బృహస్పతికి మధ్య దూరం కనిష్ఠంగా ఉన్నప్పుడు బృహస్పతి నుండి భూమికి ప్రయాణించడానికి కాంతికి కొంత సమయం పడుతుంది. ఆర్నెల్ల తరువాత భూమి బృహస్పతి సూర్యుడికి వున్న వైపు కాక అవతలి వైపు ఉన్నప్పుడు రెండు గ్రహాలకి మధ్య దూరం గరిష్ఠంగా ఉంటుంది. అప్పుడు రెండు గ్రహాల మధ్య కాంతి ప్రయాణించడానికి పట్టే కాలం మరింత ఎక్కువ అవుతుంది. భూమికి బృహస్పతికి మధ్య కనిష్ఠ, గరిష్ఠ దూరాల మధ్య తేడా భూమి కక్ష్య యొక్క వ్యాసంతో సమానం అవుతుంది.

భూమి కక్ష్య వ్యాసంతో సమానమైన ఆ అదనపు దూరాన్ని దాటడానికి కాంతికి కొంత సమయం పడుతుంది. అందువల్ల భూమి, బృహస్పతి సూర్యుడికి చెరో వైపు ఉన్నప్పుడు భూమి మీద ఉండే ఖగోళశాస్త్రవేత్తలు గ్రహణం కోసం అంత అదనపు కాలం వేచి ఉండవలసి వస్తుంది. అందుకే ఆ దశలో బృహస్పతి ఉపగ్రహాల గ్రహణాలు సగటు విలువ కన్నా మరింత ఆలస్యంగా కనిపిస్తాయి. అదే సూర్యుడికి ఒక వైపే భూమి, బృహస్పతి ఉన్నప్పుడు, రెండు గ్రహాల మధ్య దూరం కనిష్ఠంగా ఉండి, కాంతి మరింత తొందరగా భూమిని చేరగలుగుతుంది. అందుకే సగటు కాలం కన్నా మరింత తొందరగా గ్రహణాలు కనిపిస్తాయి.

రోమర్ కాలంలో భూమి కక్ష్య వ్యాసం విలువ కచ్చితంగా తెలిసేది కాదు. కాని రోమర్ అప్పటికి లభ్యంగా ఉన్న అంచనానే తీసుకున్నాడు. తన పరిశీలనల ప్రకారం కాంతికి ఆ దూరాన్ని దాటడానికి 16 నిముషాలు పడుతుందని తెలిసింది. దీన్ని బట్టి కాంతి వేగం 1,32,000 మైళ్లు/సెకను అని అంచనా వేశాడు రోమర్.

రోమర్ భూమి కక్ష్య వ్యాసాన్ని తక్కువ అంచనా వేశాడు కాబట్టి కాంతి వేగాన్ని కూడా తక్కువ అంచనా వేశాడు. అసలు విలువ కన్నా ఈ విలువ 50,000 మైళ్లు/సెకను తక్కువ. కాని కాంతి విలువకి అది మొట్టమొదటి అంచనా అని గుర్తిస్తే ఇది నిజంగా మెచ్చుకోదగ్గ విజయం అనే చెప్పాలి.

ఎంత తక్కువ అంచనా వేసినా రోమర్ చేసిన అంచనా (అది 1676 నాటి మాట) చాలా పెద్దవిలువ అనే చెప్పుకోవాలి. ఒక కొండ నుండి మరో కొండకి కాంతి ప్రయాణించే కాలం బట్టి కాంతి వేగాన్ని కొలవబోయిన గెలీలియో అంత పెద్ద విలువని కొలవగలిగి ఉండేవాడు కాదు. ఆ కొండల మధ్య దూరం 1 మైలు ఉంటుంది అనుకుంటే, ఆ దూరాన్ని దాటి తిరిగి వెనక్కు రావడానికి కాంతికి కేవలం

సెకనులో 1/90,000 వంతు కాలం మాత్రమే పడుతుంది. కొండల మధ్య దూరం పది మైళ్ళు అనుకున్నా ఆ కాలం సెకనులో 1/9000 వంతు అవుతుంది. అంత తక్కువ కాలాలని కొలవడం గెలీలియోకి సాధ్యం అయ్యుండేది కాదు.[1]

## అంతరిక్షం నుండి భూమికి...

రోమర్ అంచనా వేసిన కాంతి వేగం విలువకి ఖగోళ శాస్త్రవేత్తలు పెద్దగా స్పందించలేదు. దానికి కారణం అంత పెద్ద వేగం గురించి వాళ్లు ఎప్పుడూ కని విని ఎరుగకపోవడమే. అంతేకాక గడియారం సహాయంతో అంత కచ్చితంగా కాలాన్ని కొలవడం కూడా ఆ రోజుల్లో కాస్త విడ్డూరంగా అనిపించేది. ఈ కారణాలవల్ల రోమర్ ఫలితాలు ఇంచుమించు విస్మరించబడ్డాయి. ఓ డెబ్బై ఏళ్ల పాటు అంతా ఆ

---

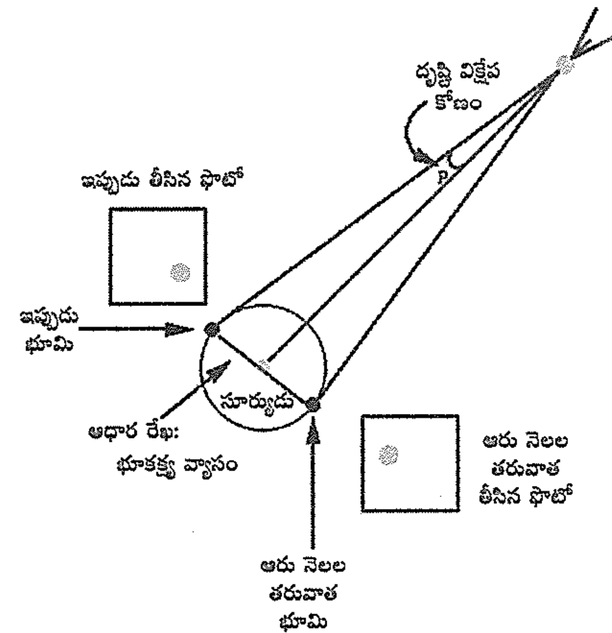
1. *అసిమోవ్ పాశ్చాత్యుడు కాబట్టి కాంతివేగానికి రోమర్ చేసిన అంచనాయే మొట్టమొదటిది అన్నట్టు రాశాడు. కాని ప్రాచీన భారతంలో శాయణుదు అనే పండితుడు కాంతివేగం గురించి ప్రస్తవించిన దాఖలాలు ఉన్నాయి.*
   *ప్రాచీన భారత విజ్ఞానం గురించి ఎంతో పరిశోధన చేసిన ప్రొఫెసర్ సుభాష్ కాక్ (Louisiana State Univ) ఈ విషయం గురించి ఇలా రాస్తున్నారు.*
   *విజయనగర సామ్రాజ్యాన్ని ఒకటవ బుక్కరాయలు పాలించే కాలంలో సాయణుడు (1315-1387) అనే పండితుడు ఉండేవాడు. ఇతగాడు వేదపండితుడు. ఎన్నో ప్రాచీన గ్రంథాల మీద వ్యాఖ్యానాలు రాశాడు. ఋగ్వేదంలో సూర్యుడిని స్తుతించే ఓ గీతంలో (1.50) నాలుగవ శ్లోకం ఇలా వుంది -*
   *తథా చ స్మర్యతే యోజనానాం సహస్రే ద్వే ద్వే శతే ద్వే చ యోజనే*
   *ఏకేన నిమిషార్ధేన క్రమమాణ నమో 2స్తు త ఇతి॥*
   *తాత్పర్యం: అరనిమేషానికి 2202 యోజనాలు ప్రయాణించగల నీకు నమస్కారం.*
   *ఇది సూర్య స్తుతి కాబట్టి ఆ గమనం సూర్యుడిది అని అనుకోవాల్సి ఉంటుంది. కాని పద్మాకర్ విష్ణు వర్తక్ అనే రచయిత ఆ గమనం సూర్యుడుది కాదని, కాంతిదని సూచించాడు. ఎందుకంటే 1 యోజనం విలువ 9.065 మైళ్లు. అలాగే మహాభారతంలో శాంతి పర్వం ప్రకారం 1 నిమేషం విలువ 8/75 సెకన్లు. ఈ అంచనా బట్టి పైన శ్లోకంలో ఇచ్చిన వేగాన్ని లెక్కిస్తే దాని విలువ 1,87,084.1 మైళ్లు/సెకను అని వస్తుంది. మేటి సంస్కృత పండితుడైన సర్ మోనియర్ విలియమ్స్ ప్రకారం 1 యోజనం విలువ 9 మైళ్ళు. ఈ అంచనా బట్టి పైన శ్లోకంలో ఇచ్చిన వేగాన్ని లెక్కిస్తే దాని విలువ 1,86,413.22 మైళ్లు/సెకను అని వస్తుంది. అయితే, దేని ఆధారంగా ఈ అంచనాలకు వచ్చారో మనకు తెలియటంలేదు. ఈ రెండు విలువలూ పైన రోమర్ చెప్పిన విలువ కన్నా అసలు విలువకి చాలా సన్నిహితంగా ఉన్నాయి. కాంతి వేగం ఆధునిక విలువ వ 1,86,300 మైళ్లు/సెకను.*



విషయమే మరిచిపోయారు.

ఇంతలో శాస్త్రవేత్తల ధ్యాస మరో ఖగోళ విశేషం మీదకి మళ్లింది. తారలు మన నుండి చాలా దూరంలో వున్నాయని ఎంతో కాలంగా మనుషులు నమ్ముతూ వచ్చారు. కాని ఆ దూరం ఎంత అన్న విషయం మీద ఎవరికీ పెద్దగా అవగాహన ఉండేది కాదు. భూమి సూర్యుడి చుట్టూ ప్రదక్షిణ చేస్తుంది కాబట్టి భూమి ఆధారంగా సూర్యుడి స్థానం గణనీయంగా మారుతూ ఉంటుంది. కాని తారలు బాగా దూరంలో ఉంటాయి కాబట్టి మన బట్టి వాటి స్థానంలో పెద్దగా మార్పు ఉండదు.

సూర్యుడికి భూమి ఒక వైపున ఉన్నప్పుడు, ఇక్కడినుంచి ఒక సమీప తారని చూసినప్పుడు, ఒక సుదూర తారకి ఈ సమీప తారకి మధ్య కోణీయ దూరం కొంత ఉండొచ్చు. భూమి సూర్యుడికి అవతలి వైపున ఉన్నప్పుడు (ఆర్నెల్ల తరువాత) అక్కడినుంచి చూసినప్పుడు, ఆ రెండు తారల మధ్య కోణీయ దూరం విలువ వేరుగా ఉండొచ్చు. సూర్యుడికి ఇరు వైపుల నుండి ఓ సమీప తారని చూసినప్పుడు దాని దిశలో చెప్పుకోదగ్గ తేడా ఉండొచ్చు. కాని అదే విధంగా సూర్యుడికి ఇరు వైపుల



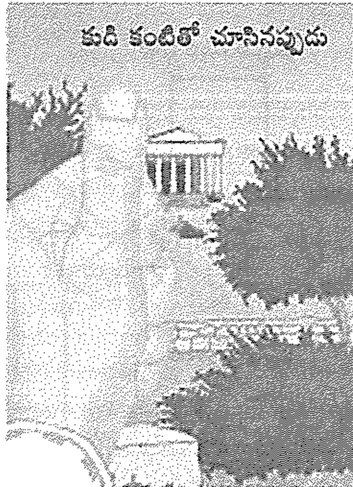
నుండి సుదూర తారని చూసినప్పుడు దాని దిశలో పెద్దగా తేడా ఉండకపోవచ్చు.

సుదూర తారల నేపథ్యం మీద సమీప తారల స్థానంలో వచ్చే మార్పునే "దృష్టి విక్షేపం" (parallax) అంటారు. ఈ దృష్టి విక్షేపం ఎలా పని చేస్తుందో అర్థం చేసుకోడానికి ఓ చిన్న ప్రయోగం చెయ్యొచ్చు. మీ ముఖానికి ఎదురుగా, ఓ అడుగు దూరంలో మీ బొటన వేలిని చిత్రంలో చూపించినట్టు పట్టుకోవాలి. ఇప్పుడు మీ ఎడమ కన్ను మూసుకుని, కుడి కంటితో చూస్తూ మీ బొటన వేలి వెనక ఏ వస్తువు ఉందో గుర్తుంచుకోవాలి. అది ఓ చెట్టో, ఓ బల్లో, ఓ కుర్చీనో... ఇలా నేపథ్యంలో ఉన్న, బొటన వేలి వెనకగా ఉన్న, వస్తువుని గుర్తుపెట్టుకోవాలి. ఇప్పుడు కుడి కన్ను మూసుకుని, ఎడమ కంటితో చూస్తే అదే విధంగా బొటన వేలి వెనకగా ఉన్న వస్తువుని గుర్తించాలి. ఇప్పుడు కుడి, ఎడమ కళ్ళని మార్చి మార్చి మూసుకుంటూ బొటన వేలి స్థానం ఎలా మారుతోందో గమనించాలి. చూసే కంటిని బట్టి బొటన వేలి నేపథ్యం మారుతోందని ఈ ప్రయోగాన్ని బట్టి మనం గమనించగలం.

బొటన వేలి స్థానంలో ఎంత తేడా వచ్చింది అన్న దాని బట్టి మీ ముఖం నుండి మీ బొటన వేలి దూరాన్ని అంచనా వెయ్యడానికి వీలవుతుంది. అదే విధంగా భూమి సూర్యుడికి ఇరుపక్కల ఉన్న స్థితిలో సమీప తారని చూసినప్పుడు, ఆ తార స్థానంలో (లేక దిశలో) వచ్చిన తేడా బట్టి భూమి నుండి ఆ తార దూరాన్ని అంచనా వెయ్యొచ్చు.

సైద్ధాంతికంగా ఈ పద్ధతి బాగానే ఉంది గాని వాస్తవంలో తారలు భూమి






నుండి ఎంత దూరంలో వున్నాయంటే తారల వల్ల మనకి కలిగే "దృష్టి విక్షేపం" అతి స్వల్పంగా ఉంటుంది. 1700ల నాటి దూరదర్శినులు మరీ మోటువి కాబట్టి అంత చిన్న విక్షేపాలని పసిగట్ట లేకపోయాయి. ఆ విషయం తెలీని శాస్త్రవేత్తలు తారల "దృష్టి విక్షేపపు" విలువలని అదే పనిగా కొలుస్తూ పోయేవారు.

అలా దృష్టి విక్షేపాలని కొలిచిన వారిలో బ్రిటన్‌కి చెందిన జేమ్స్ బ్రాడ్లీ (1693–1762) ఒకడు. అతడు దూరదర్శినితో ఒక తార దృష్టి విక్షేపం కొలవగలిగాడు.

అయితే తను కొలిచిన దృష్టి విక్షేపాలు దోషపూరితమైనవి. భూమి ఒక దిశలో కదులుతున్నప్పుడు, తార స్థానం వ్యతిరేక దిశలో స్థానభ్రంశం చెందుతున్నట్టు కనిపించాలి. కాని బ్రాడ్లీ పరిశీలించిన తార విషయంలో అలా జరగలేదు. తార తప్పుడు దిశలో కదిలినట్టు కనిపించింది. కాబట్టి అదసలు "దృష్టి విక్షేపమే" కాదని తెలిసింది.

మరి అది దృష్టి విక్షేపం కాకపోతే బ్రాడ్లీ చూసినదేమిటి?

బ్రాడ్లీ ఈ విషయం గురించి లోతుగా ఆలోచించాడు. అతడికో ఉపాయం తట్టింది.

మీరు వర్షంలో నిల్చున్నారు అనుకోండి. వర్షపు చినుకులు నిలువుగా కింద పడుతున్నాయి. అప్పుడు గొడుగుని నిటారుగా తల మీద పట్టుకుంటే మీ మీద చినుకులు పడవు.

కాని ఇప్పుడు మీరు అలాగే గొడుగుని నిటారుగా పట్టుకుని వర్షంలో నడవడం మొదలెడితే వర్షపు నీరు మీ ముందు భాగం మీద పడుతుంది. మీ వెనక భాగం పొడిగా ఉన్నా, ముందు భాగం తడిసిపోతుంది. ఎందుకంటే గొడుగు ముందు అంచుని కొంచెంలో తప్పించుకున్న వర్షపు చినుకు మీ ఛాతీ మీద పడుతుంది. ఎందుకంటే అప్పటికి మీ శరీరం కాస్త ముందుకి జరిగి ఉంటుంది. కాబట్టి మీరు కదులుతున్నప్పుడు తడవకుండా ఉండాలంటే గొడుగుని కాస్త ఏటవాలుగా పట్టుకోవాలి.

గొడుగుని ఎంత ఏటవాలుగా పట్టుకోవాలి అన్నది, వర్షపు చినుకులు పడే వేగం మీద, మీరు కదిలే వేగం మీద, నిజానికి ఈ రెండు వేగాల నిష్పత్తి మీద ఆధారపడి ఉంటుంది. మీ వేగం ఎక్కువ అవుతున్న కొద్దీ, గొడుగుని మరింత ఏటవాలుగా పట్టుకోవాలి.

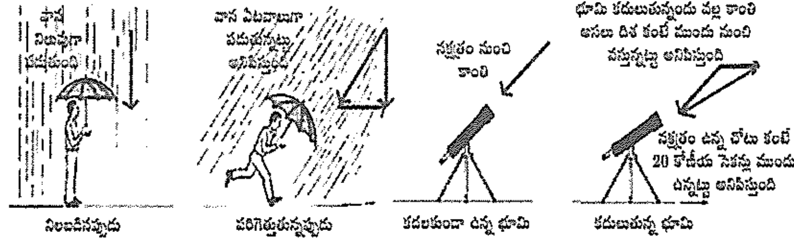
కాబట్టి మీ వేగం, వర్షపు చినుకుల వేగం తెలిస్తే, మీరు తడవకుండా ఉండాలంటే సరిగ్గా ఎంత వాలు వద్ద గొడుగుని పట్టుకోవాలో లెక్కించొచ్చు. అలాగే మీరు తడవకుండా ఉండడానికి అవసరమైన గొడుగు వాలు తెలిస్తే, మీ వేగం కూడా

తెలిస్తే, వర్షపు చినుకు వేగాన్ని అంచనా వెయ్యడానికి వీలవుతుంది.

తార నుండి భూమిని చేరే కాంతి చినుకులు పైన ఉదాహరణలో చెప్పుకున్న వర్షపు చినుకుల లాంటివి అని ఊహించుకున్నాడు బ్రాడ్లీ. ఇందాక మీరు వర్షంలో కదిలినట్టు భూమి అంతరిక్షంలో (సూర్యుడి చుట్టూ) కదులుతోంది. కాబట్టి ఆ కాంతి కణాన్ని పట్టుకోడానికి భూమి నుండి తార దిశగా సారించబడ్డ దూరదర్శినులని ఒక ప్రత్యేక వాలు వద్ద ఉంచాలి. బ్రాడ్లీ ఆ వాలుని కొలిచాడు. అలాగే సూర్యుడి చుట్టూ భూమి కదిలే వేగం కూడా తెలిసిన విలువే. ఈ రెండు విలువల సహాయంతో తార నుండి భూమిని చేరిన కాంతి కిరణం విలువ అంచనా వేశాడు బ్రాడ్లీ.

1748లో అతడు చేసిన ఈ అంచనా విలువ 1,76,000 మైళ్ళు/సెకను. రోమర్ అంచనా కన్నా ఇది చాలా నయం. కాని అసలు విలువ కన్నా ఇది పది వేల మైళ్లు/సెకను తక్కువ.

రోమర్ కాలంతో పోలిస్తే బ్రాడ్లీ కాలానికి వైజ్ఞానిక పరిస్థితులు చాలా భిన్నంగా ఉన్నాయి. అంత పెద్ద వేగాలని అర్థం చేసుకునే స్థితిలో ఉన్నారు శాస్త్రవేత్తలు. కాంతి వేగానికి ఒక పరిమిత వేగం ఉందన్న విషయం, అది చాలా పెద్ద విలువ




అన్న విషయం మొట్టమొదటి సారిగా శాస్త్రవేత్తలకి మింగుడు పడింది.

కాంతి వేగాన్ని కొలవడానికి రోమర్, బ్రాడ్లీలు ఎంచుకున్న పద్ధతులు ఖగోళ ఘటనల మీద ఆధారపడ్డ పద్ధతులు. రోమర్ ఎంచుకున్న పద్ధతి బృహస్పతి నుండి భూమిని చేరడానికి కాంతికి పట్టే సమయం మీద ఆధారపడింది. బ్రాడ్లీ ఎంచుకున్న పద్ధతి తార నుండి వచ్చే కాంతి భూమి మీద పడే దిశ మీద ఆధారపడింది.

ఈ కొలమానాన్ని అంతరిక్షం నుండి భూమి మీదకి తీసుకు రావడానికి వీలవుతుందా? భూమి మిదే ప్రయోగాలు చేసి శాస్త్రవేత్తలు కాంతి వేగాన్ని కొలవగలరా? ప్రయోగం అంతా భూమి మీదే జరిగితే మనకి కావలసినట్టుగా ప్రయోగ సామగ్రిలో మార్పులు చేర్పులు చేసుకోడానికి వీలవుతుంది.



అలాంటి ప్రయోగం మొట్టమొదటి సారి 1849లో జరిగింది. దాన్ని చేసిన వ్యక్తి ఫ్రెంచ్ శాస్త్రవేత్త ఆర్మాండ్ హిపోలైట్ ఫిజో (Armand Hippolyte Fizeau, 1819–1896). గెలీలియో చేసిన ప్రాథమిక ప్రయోగానికి కాస్త మెరుగులు దిద్ది తిరిగి చెయ్యడానికి ప్రయత్నించాడు ఫిజో.

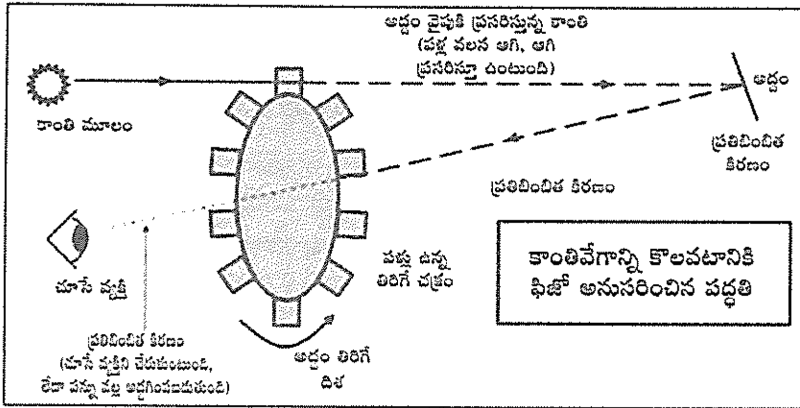
గెలీలియో చేసినట్టుగానే ఫిజో రెండు కొండలని ఎంచుకున్నాడు. ఆ కొండల మధ్య దూరం 5 మైళ్లు. ఒక ప్రేరణకి మెదడు స్పందించి చేతిని కదిలించడానికి కాస్త సమయం పడుతుంది. దాన్నే ప్రతిక్రియా సమయం అంటారని అంతకు ముందు చెప్పుకున్నాం. ఈ ప్రతిక్రియా సమయం వల్ల వచ్చే సమస్యని ఒక విధంగా పరిష్కరించాడు ఫిజో. అవతలి కొండ మీద ఓ శిష్యుడిని నించోమనకుండా అక్కడ ఓ అద్దాన్ని ఉంచాడు.

ఫిజో ఒక కొండ మీద నించుని అవతలి కొండ వైపుగా ఓ కాంతి కిరణాన్ని ప్రసరించాడు. ఆ కిరణం ఆ కొండ మీద ఉండే అద్దం మీద పడి, ప్రతిబింబించబడి తిరిగి వెనక్కి వస్తుంది. కిరణం బయలుదేరిన సమయానికి తిరిగి వచ్చిన సమయానికి మధ్య వ్యవధిని బట్టి కాంతి వేగాన్ని కొలవవచ్చు. రెండు కొండల మధ్య రాను పోను మొత్తం పది మైళ్ళు ప్రయాణించడానికి కాంతికి పట్టే సమయం బట్టి కాంతి వేగాన్ని లెక్కించవచ్చు.

ఫిజో కాలం నాటికే కాంతి వేగం గురించి కొంత అవగాహన వుంది. ఐదు మైళ్ళ ఎడంలో ఉన్న కొండల మధ్య ఓ చుట్టు చుట్టి రావడానికి కాంతికి రమారమి 1/18,000 సెకను కాలం పడుతుందని ఫిజోకి తెలుసు. గెలీలియో కాలంతో పోలిస్తే ఫిజో కాలానికి గడియారాలు ఎన్నో మెరుగులు దిద్దుకున్నాయి. మరింత చిన్న వ్యవధులని కొలవడానికి వీలయ్యింది. అయితే మరీ అంత సూక్ష్మమైన వ్యవధులని కొలవడం సామాన్యమైన విషయం కాదు. నేరుగా గడియారంతో కొలవగలిగే వ్యవధి కాదిది. దీన్ని కొలవడానికి కాస్త "సమయ" స్ఫూర్తి తో కూడిన ఏర్పాట్లు చేసుకోవాలి.

ఫిజో రూపొందించిన పరికరంలో పళ్ళున్న చక్రం ఒకటి వుంటుంది. ఆ చక్రం అంచు మీదుగా ఓ కాంతి కిరణం ప్రసరిస్తుంది. చక్రం కిరణానికి అడ్డు వస్తుందా, ముందుకి పోనిస్తుందా అన్నది చక్రం స్థానం మీద ఆధారపడుతుంది. గేర్ చక్రం లాంటి ఈ చక్రం చుట్టూ "పళ్లు" ఉంటాయి. కిరణ రేఖ రెండు "పళ్ళ" మధ్యన సందులో పడితే ఆ సందు లోంచి కిరణం ముందుకు పోగలదు. కాని కిరణ రేఖ ఓ "పన్ను" లోంచి పోతే, అది కిరణానికి అడ్డుపడుతుంది.

ఫిజో ఈ చక్రాన్ని నెమ్మదిగా తిరగనిచ్చాడు. చక్రం పళ్ళ సందులోంచి వెలువడ్డ




కాంతివేగాన్ని కొలవటానికి ఫిజో అనుసరించిన పద్ధతి

కిరణం అవతలి కొండని చేరుకుని, అక్కడ ఉన్న అద్దం మీద ప్రతిబింబితమై, వెనక్కి వస్తుంది. ఆ కిరణం ఎంత త్వరగా వెనక్కి వస్తుందంటే అప్పటికి ఇంకా కాంతి రేఖ రెండు పళ్ల సందులోంచే పోతుంటుంది. కిరణానికి అడ్డుపడుతూ ఆ స్థానం లోకి ఇంకా పన్ను రాలేదు. కనుక ఇవతల వెనక్కు వచ్చిన కిరణం కోసం కాచుకు కూర్చున్న ఫిజోకి తిరిగొచ్చిన కిరణం కనిపిస్తుంది.

ఫిజో క్రమంగా చక్రం తిరిగే వేగాన్ని పెంచుతూ పోయాడు. చక్రం వేగం ఒక స్థాయిని చేరుకునే సరికి పరిస్థితి మారిపోయింది. పళ్ల సందుల లోంచి ముందుకి పోయిన కిరణం తిరిగి వెనక్కు వచ్చేసరికి పన్ను కిరణానికి అడ్డుపడింది. కాబట్టి ఇవతల వెనక్కి వచ్చిన కిరణం కోసం చూస్తున్న ఫిజోకి అవతలి కొండ మీద అద్దంలో ప్రతిబింబం కనిపించలేదు.

ఫిజో చక్రం వేగాన్ని మరింత పెంచాడు. వేగం మరో స్థాయిని చేరుకున్నప్పుడు మరో విచిత్రం జరిగింది. ఈ సారి కిరణం వెనక్కి తిరిగి వచ్చేసరికి, ఏ పళ్ళ సందు లోంచి దూరి కిరణం తన యాత్ర మీద బయలుదేరిందో, ఆ పళ్ల సందుకి తరువాత పళ్ల సందు కాంతి రేఖకి అడ్డువచ్చింది. తిరిగొచ్చిన కిరణం ఆ పళ్ళ సందులోంచి ముందుకు పోతూ ఆ వెనుక ఉన్న ఫిజో కళ్లలో పడింది. ఈ సారి మళ్లీ ఫిజోకి కాంతి యొక్క ప్రతిబింబం కనిపించింది.

చక్రం ఎంత వేగంతో తిరుగుతోందో ఫిజోకి తెలుసు. కాబట్టి చక్రం పలుసందు స్థానంలో పన్ను రావడానికి ఎంత సేపు పడుతుందో తెలుసు. అలాగే ఒక పలు సందు స్థానంలోకి తరువాతి పలుసందు రావడానికి ఎంత సేపు పడుతుందో కూడా తెలుసు. ఈ వ్యవధులని వాడి కాంతికి రెండు కొండల మధ్య యాత్ర చెయ్యడానికి



ఎంత సేపు పడుతుందో లెక్కించాడు ఫిజో. దాంతో కాంతి వేగాన్ని అంచనా వెయ్యడానికి వీలయ్యింది.

ఆ విధంగా 1849లో ఫిజో చేసిన అంచనా బట్టి కాంతి వేగం 1,96,000 మైళ్ళు/సెకను అని తేలింది. అసలు కాంతి వేగం కన్నా ఈ విలువ కాస్త ఎక్కువ. ఒక విధంగా చూస్తే బ్రాడ్లీ విలువతో పోలిస్తే ఫిజో చేసిన అంచనా అంత గొప్పదేమీ కాదు. అసలు విలువ కన్నా బ్రాడ్లీ అంచనా 10,000 మైళ్ళు/సెకను తక్కువ అయితే, ఫిజో అంచనా 10,000 మైళ్ళు/సెకను ఎక్కువ.

అయితే ఫిజో సాధించిన ప్రత్యేక ఫలితం ఏంటంటే, తనకు పూర్వం కాంతి వేగాన్ని సాధించిన వారి లాగా అంతరిక్షపు ఘటనల మీద ఆధారపడకుండా పూర్తిగా భూమి మీదే జరిగే ఘటనల ఆధారంగా కాంతి వేగాన్ని కొలవగలిగాడు. కాబట్టి ఫిజో వాడిన పద్ధతినే అవలంబించినా, మరింత కచ్చితంగా కాంతి వేగాన్ని కొలవాలంటే మరింత సునిశితమైన పరికరం కావాలి.

## ప్రయోగశాలలో కాంతి వేగం కొలత

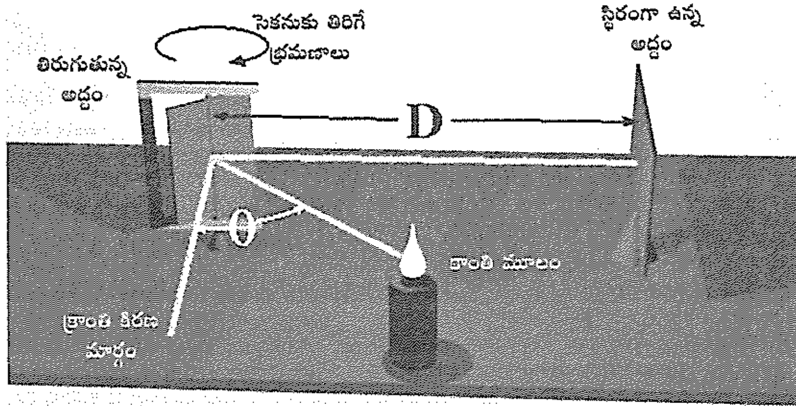
ఫిజోకి తన పరిశోధనలలో సహాయం చేసిన మరో ఫ్రెంచ్ శాస్త్రవేత్త ఉన్నాడు. అతడి పేరు జా బెర్నార్డ్ లియో ఫోకాల్ట్ (Jean Bernard Leon Foucault, 1819–1868).

ఫిజో చేసిన ప్రయోగమే ఫోకాల్ట్ కూడా చెయ్యడానికి ప్రయత్నించాడు. అయితే పళ్లు ఉన్న చక్రానికి బదులుగా రెండవ అద్దాన్ని వాడాడు ఫోకాల్ట్. మొదటి అద్దం నుండి ప్రతిబింబించబడ్డ కిరణం, రెండో అద్దం మీద పడి అక్కడి నుండి ఓ తెర మీదకి విక్షేపించబడుతుంది.

ఇప్పుడు రెండో అద్దాన్ని వేగంగా తిప్పుతున్నాం అనుకుందాం. కాంతి మొదటి అద్దం నుండి తిరిగొచ్చి రెండవ అద్దం మీద పడేసరికి ఆ అద్దం కాస్త పక్కకి తిరిగిపోతుంది. కాబట్టి అక్కడి నుండి బయలుదేరే కిరణం తెర మీద కాస్త పక్కగా పడుతుంది.

రెండవ అద్దం ఎంత వేగంతో తిరుగుతోందో తెలుసు కాబట్టి, దాని నుండి ప్రతిబింబితమైన కిరణం ఎంత పక్కకి తిరుగుతుందో తెలిస్తే, ఈ సమాచారం బట్టి కాంతి వేగాన్ని లెక్కించొచ్చు.

ఫోకాల్ట్ తన ప్రయోగాన్ని పదే పదే చేసి చూశాడు. తన ప్రయోగ పరికరాలకి కూడా సముచితమైన మార్పులు చేర్పులు చేస్తూ వచ్చాడు. తన కృషి ఫలితంగా




1862లో తను లెక్కించిన కాంతి వేగం 1,85,000 మైళ్లు/సెకను అని వచ్చింది. అంతవరకు జరిగిన కాంతి వేగపు అంచనాలు అన్నిట్లోకి ఇది అత్యంత నిర్దుష్టమైనది. అసలు విలువ కన్నా ఇది సుమారు 1000 మైళ్లు/సెకను మాత్రమే తక్కువ.

కచ్చితంగా ఉండడం మత్రమే కాక ఫిజో పద్ధతితో పోలిస్తే ఫోకాల్ట్ పద్ధతిలో మరో లాభం కూడా ఉంది. ఇందులో పెద్ద దూరాలతో పని లేదు. గెలీలియో, ఫిజో మొదలైన వాళ్లు అవలంబించిన పద్ధతిలో లాగా కొండలు, మిట్టలు ఎక్కనక్కర్లేదు. ఫోకాల్ట్ వాడిన ప్రయోగ సామగ్రి చాలా సంక్షిప్తంగా ఉంటుంది. అందులో కాంతికిరణం సుమారు 66 అడుగుల దూరం మాత్రమే ప్రయాణించింది.

కాబట్టి ఫోలాక్ట్ వాడిన పద్ధతిని ఆరుబయట కాకుండా, గదిలో అంటే ప్రయోగశాలలోనే అమలు చెయ్యొచ్చు. ఈ పద్ధతిలో మరో లాభం ఏంటంటే ఈ పద్ధతిలో గాలిలోనే కాక ఇతర మాధ్యమాలలో కూడా కాంతి వేగాన్ని కొలవవచ్చు.

గాలిలో కాంతివేగాన్ని కొలుస్తున్నప్పుడు కిరణం కొన్ని మైళ్లు ప్రయాణించినా ఫరవాలేదు. కాని అదే పద్ధతి వాడి, నీట్లో కాంతి వేగాన్ని కొలవాలని ప్రయత్నిస్తే ఆ ప్రయత్నం విఫలం అవుతుంది. ఎందుకంటే ఐదు మైళ్లు పొడవున్న నీటి తొట్టెలో కాంతి కిరణాన్ని ప్రసరిస్తే అది అవతలి కొస దాకా ప్రయాణించి తిరిగి మొదటికి వచ్చేసరికి అందులోని శక్తి ఇంచుమించు పూర్తిగా హరించుకుపోతుంది. ఆ శక్తిని నీరు హరిస్తుంది. నీరు కాంతికి పారదర్శకం అనుకుంటాం గాని ఆ సూత్రం తక్కువ దూరాల వద్దనే వర్తిస్తుంది. మైళ్ల దూరాల వద్ద నీరు కాంతికి పారదర్శకం కాదు.



చిన్న చిన్న దూరాల వద్ద కూడా కాంతి వేగాన్ని కొలవగలిగిన ఫోకాల్ట్ నీట్లో కూడా కాంతి వేగాన్ని కొలవగలిగాడు. ఆ కొలత ఫలితం, కాంతి తత్వాన్ని గురించి ఎంతో కాలంగా వస్తున్న ఓ తగవుని తీర్చింది.

ఫోకాల్ట్ కాలం నాటికి కాంతి తత్వం గురించి రెండు సిద్ధాంతాలు ఉండేవి. కొందరు కాంతిలో ఉండేవి కణాలు అనుకునేవారు. మరి కొందరు కాంతిలో ఉండేవి తరంగాలని భావించేవారు. క్రమంగా తరంగ సిద్ధాంతానిదే పై చేయి అవుతున్నా, కణ సిద్ధాంతాన్ని నమ్మిన వర్గం తమ నమ్మకాన్ని పూర్తిగా వదులుకోలేని స్థితిలో ఉన్నారు.

కాంతి కణ సిద్ధాంతం ప్రకారం గాలిలో కన్నా నీటిలో కాంతి మరింత వేగంగా ప్రయాణించాలి. కాని తరంగ సిద్ధాంతం ప్రకారం కాంతి గాలిలో కన్నా నీటిలో మరింత నెమ్మదిగా ప్రయాణించాలి.

1853లో ఫోకాల్ట్ నీటి ద్వారా ఓ కాంతి పుంజాన్ని పంపించి తన పరిభ్రమించే అద్దపు పరికరంతో కాంతి వేగాన్ని కొలిచాడు. గాలిలో కాంతివేగంతో పోల్చితే నీటిలో కాంతి వేగం 3/4 వంతు కన్నా కాస్త ఎక్కువని కనుక్కున్నాడు. దీంతో కాంతి తరంగ సిద్ధాంతానికి సమర్థన దొరికింది. కాంతి కణ సిద్ధాంతానికి తిలోదకాలు వదిలేశారు. (అయితే అర్థశతాబ్దం తరువాత కాంతి తరంగం లాగ, కణం లాగ కూడా ప్రవర్తిస్తుందని కనుక్కున్నారు.)

కాంతి గాలి లోంచి మరో పారదర్శకమైన మాధ్యమంలోకి ప్రవేశించినప్పుడు రెండు మాధ్యమాల సరిహద్దు వద్ద దాని చలనరేఖ వంగుతుంది. దీనినే వక్రీభవనం (refraction) అంటారు. కాంతి ఎంతగా వంగుతుంది అన్నది ఆ మాధ్యమం "వక్రీభవన గుణకం" (index of refraction) మీద ఆధారపడుతుంది. వక్రీభవన గుణకం ఎంత ఎక్కువగా ఉంటే అందులో కాంతి వేగం అంత తక్కువగా ఉంటుంది.

నీట్లో కాంతి వేగం సుమారు 1,40,000 మైళ్ళు/సెకను. ఇంకాస్త ఎక్కువ వక్రీభవన గుణకం ఉన్న అద్దంలో కాంతి వేగం 1,25,000 మైళ్ళు/సెకను. మరింత ఎక్కువ వక్రీభవన గుణకం గల వజ్రంలో కాంతి వేగం కేవలం 77,000 మైళ్లు/సెకను మాత్రమే.

కాంతి వేగాన్ని కొలిచే కృషిలో తదుపరి మైలు రాయిని చేరుకున్నవాడు జర్మన్-అమెరికన్ శాస్త్రవేత్త ఆల్బర్ట్ ఆబ్రహామ్ మికెల్సన్ (Albert Abraham Michelson, 1852-1931).

1878లో ఇతడు ఈ సమస్య మీద పని చెయ్యడం మొదలుపెట్టాడు. ఫోకాల్ట్ అవలంబించిన పద్ధతినే ఇతడూ అవలంబించినా ఆ పరికరాన్ని మరింత సునిశితంగా

తీర్చిదిద్దాడు. ఫోకాల్ట్ వాడిన పరిభ్రమించే అద్దపు పరికరంలో కాంతి బిందువు తెర మీద 1/40 అంగుళం దూరం మాత్రమే పక్కకి జరుగుతుంది. అంత చిన్న దూరాన్ని కచ్చితంగా కొలవడం కష్టం.

మికెల్సన్ వాడిన పరికరంలో కాంతి బిందువు 5 అంగుళాలు పక్కకి జరుగుతుంది. 1879లో ఇతడు తను తీసుకున్న కొలతల ప్రకారం కాంతి వేగం 1,86,355 మైళ్లు/సెకను అని నిర్ణయించాడు. పూర్వపు కొలతల కన్నా ఇది మరింత మెరుగైన కొలత. అసలు విలువ కన్నా ఇది 73 మైళ్లు/సెకను మాత్రమే ఎక్కువ. అప్పుడు, ఆ తరువాత అతడు కాంతికి సంబంధించి చేసిన కృషికి మన్ననగా 1907లో అతడికి నోబెల్ బహుమతి లభించింది.

కాంతి వేగానికి ఇంకా ఇంకా కచ్చితమైన కొలతలు సాధించాలన్న ఉద్దేశంతో మికెల్సన్ పూర్వీకులైన గెలీలియో, ఫిజోలు చేసినట్టే కొండల మీద ప్రయోగాలు చెయ్యాలని నిశ్చయించాడు. అతడు ప్రయోగశాలలో సాధించిన ఫలితాలు అత్యుత్కృష్టమైనవి. అయినా కూడా అంతే సునిశితమైన పరికరాలతో దూరాలు పెంచుతూ పోతే మరింత కచ్చితమైన కొలతలు సాధించడానికి వీలవుతుందని అతడు భావించాడు.

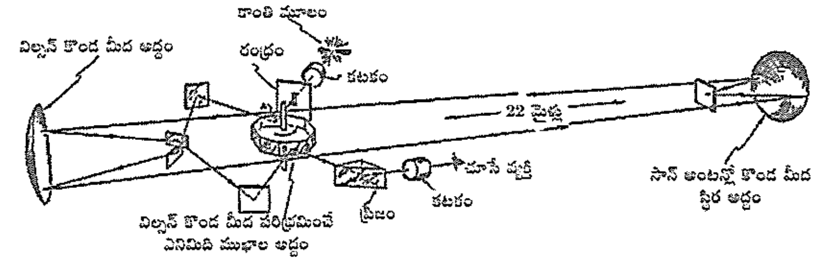
1923లో అమెరికాలోని కాలిఫోర్నియా రాష్ట్రంలో రెండు కొండలని ఎంచుకుని ప్రయోగానికి సన్నాహాలు చేసుకున్నాడు మికెల్సన్. ఫిజో వాడిన కొండల మధ్య దూరం కేవలం 5 మైళ్లే. కాని మికెల్సన్ వాడిన కొండల మధ్య దూరం 22 మైళ్లు. అయితే గెలీలియో కన్నా, ఫిజో కన్నా కూడా, మికెల్సన్ వాడిన కాంతి పుంజాలు మరింత తీక్షణమైనవి. మికెల్సన్ విద్యుత్ దీపాలు వాడాడు. కాబట్టి ఆ పుంజం 22 మైళ్ల దూరం ప్రయాణించి తిరిగి వచ్చాక కూడా స్పష్టంగా కనిపిస్తుంది.

అంతేకాక రెండు కొండల మధ్య దూరం కచ్చితంగా తెలుసుకోవాలనుకున్నాడు మికెల్సన్. అప్పుడు కాంతి వేగాన్ని కూడా కచ్చితంగా కొలవగలడు. ఊరికే 22 మైళ్లు అంటే సరిపోదు. కొండల మీద తను పెట్టిన పరికరాల మధ్య దూరం జాగ్రత్తగా అంచనా వేశాడు. ప్రయోగ దోషం ఒక అంగుళానికి మించి ఉండదని నిర్ధారించుకున్నాడు!

మికెల్సన్ వాడిన పరిభ్రమించే అద్దానికి ఎనిమిది ముఖాలు వున్నాయి. మిగతా అద్దాల విషయంలో కన్నా వాటి నుండి పరిభ్రమించే కాంతి రేఖ తెర మీద మరింత ఎక్కువగా స్థానభ్రంశం చెందుతుంది.

ఆ విధంగా తన ప్రయోగ పరికరాలకి మెరుగులు దిద్దుకుంటూ మళ్ళీ మళ్ళీ






ప్రయోగాలు చేసి కాంతి వేగాన్ని కొలిచాడు. కాంతి వేగానికి తను సాధించిన ఫలితాలలో అసలు విలువకి అత్యంత సన్నిహితంగా వచ్చిన విలువ 186,295 మైళ్ళు/సెకను. ఈ విలువ నిజంగా చాలా కచ్చితమైనది. అసలు విలువ కన్నా ఇది కేవలం 13 మైళ్లు/సెకను మాత్రమే తక్కువ.

మికెల్సన్‌కి తన ఫలితాల పట్ల ఇంకా తృప్తి కలగలేదు. కాంతి పుంజాన్ని గాల్లోంచి ప్రసరింపచేయడం వల్ల కాంతి కాస్త నెమ్మదిస్తుంది. ఎందుకంటే గాలికి కాస్తంత వక్రీభవన గుణకం ఉంది. కాంతి అసలు వేగాన్ని కచ్చితంగా కొలవాలంటే గాల్లో కాక శూన్యంలో కాంతి వేగాన్ని కొలవాలి.

రోమర్, బ్రాడ్లీలు అంతరిక్షంలో సుదీర్ఘ దూరాలు ప్రయాణిస్తున్న కాంతి వేగాన్ని కొలిచారు. కాబట్టి వాళ్ళు కొలిచింది శూన్యంలో కాంతి వేగాన్ని. కాని వాళ్లు వాడిన పరికరాల్లో సునిశితత్వం ఎంతగా కొరవడిందంటే శూన్యంలో కాంతివేగం కొలిచిన ఫలం దక్కలేదు.

ఫిజో, ఫోకాల్ట్, మికెల్సన్‌లు కాంతి వేగాన్ని ఇంకా ఇంకా మెరుగైన, సునిశితమైన పద్ధతులతో కొలిచారు గాని వాళ్లు గాల్లో కాంతి వేగాన్ని కొలిచారు. ఇప్పుడు మికెల్సన్ తన సునిశితమైన పరికరాన్ని ఉపయోగించి శూన్యంలో కాంతి వేగాన్ని కొలవాలని నిశ్చయించాడు.

మికెల్సన్ ఈ సారి తన ప్రయోగంలో ఓ పొడవాటి గొట్టాన్ని తీసుకున్నాడు. ఎందుకంటే అతడికి ఆ గొట్టం పొడవు అంగుళంలో భాగం వరకు కూడా కచ్చితంగా తెలుసు. ఆ గొట్టంలోని గాలిని తొలగించి అందులో శూన్యాన్ని ఏర్పరచాడు. ఆ గొట్టంలోనే అద్దాలు ఏర్పాటు చేసి ఆ అద్దాల మధ్య కాంతి పుంజం పదే పదే ప్రతిబింబితమై ప్రయాణించేలా ఏర్పాటు చేశాడు. ఆ విధంగా కాంతి పది మైళ్ళ దూరం గల శూన్యంలో ప్రయాణించేలా ఏర్పాటు చేశాడు.

చివరి క్షణం దాకా మికెల్సన్ తన ప్రయోగాలు కొనసాగించాడు. చివరికి

1933లో అతడు చనిపోయిన రెండేళ్ల తరువాత, అతడితో పని చేసిన వారంతా కలిసి అతడి లెక్కలని సమీకరించి, కాంతి వేగపు కచ్చితమైన విలువని ప్రకటించారు.

ఆ విలువ 186, 271 మైళ్లు/సెకను. అది అంతవరకు అతడు చేసిన అంచనాల కన్నా కాస్త నిర్దుష్టమైనది. అది అసలు విలువ కన్నా కేవలం 11.5 మైళ్ళు/సెకను తక్కువ.

శూన్యంలో కాంతి వేగానికి సంబంధించిన అధ్యయనాల ద్వార మికెల్సన్ మరో విషయం కూడా సాధించాడు.

వక్రీభవన గుణకం గల మాధ్యమంలో, అది గాలిలా తక్కువ విలువ గలదైనా కావచ్చు, లేక వజ్రంలా ఎక్కువ విలువ గలదైనా కావచ్చు, పొట్టి తరంగాలు గల కిరణాలు (ఉదహరణకి వయొలెట్ రంగు) పొడవైన తరంగాలు (ఉదాహరణకి ఎరుపు రంగు) గల కిరణాల కన్నా ఎక్కువగా వక్రీభవనం చెందుతాయి. దీన్ని బట్టి పొట్టి తరంగాలు గల కాంతి ఆ మాధ్యమంలో పొడవైన తరంగాలు గల కాంతి కన్నా నెమ్మదిగా ప్రయాణిస్తుంది అని తెలుస్తుంది.

శున్యంలో ఇక వక్రీభవన గుణకం అనేదే ఉండదు కాబట్టి అన్ని రకాల కాంతి తరంగాలు ఒకే వేగం వద్ద ప్రయాణించాలి.

## విశ్వం – కాంతి సంవత్సరాలు

ఇప్పుడు మనకి కాంతివేగం కచ్చితమైన విలువ తెలుసు కాబట్టి ఇక విశ్వం గురించిన కొన్ని మౌలిక వాస్తవాల గురించి చెప్పుకుందాం.

చందమామకి భూమి మధ్య సగటు దూరం విలువ 238,867 మైళ్లు. మరి కాంతికి ఇక్కడినుంచి చందమామని చేరుకోడానికి ఎంత సమయం పడుతుంది? సుమారు 1.25 సెకనులు.

ఏ కారణం వల్లనైనా చందమామ ఉన్నట్లుండి ఆకాశం నుండి మాయమైపోతే, దాని మీద పడి ప్రతిబింబితమైన సూర్యకాంతికి మనను చేరడానికి అంత సమయం పడుతుంది. కాబట్టి, చందమామ మాయమైపోయిన సంగతి మనకి 1.25 సెకనులు ఆలస్యంగా తెలుస్తుంది.

అలాగే సూర్యుడు భూమి నుండి 9,30,00,000 మైళ్ల దూరంలో వున్నాడు. సూర్యుడిని వదిలి భూమిని చేరడానికి కాంతికి 8 నిముషాల 19 సెకనుల కాలం పడుతుంది. సూర్యుడు ఉన్నట్లుండి మాయమైపోతే ఆ సంగతి మనకి సుమారు 8 1/3 నిముషాల తరువాత గాని తెలీదు.



భూమి కక్ష్యలో ఒక వైపు నుండి మరో వైపు వరకు చేరడానికి కాంతికి 16 నిముషాల 38 సెకనులు పడుతుంది. ఏడాదిలో వివిధ కాలాలలో జూపిటర్ ఉపగ్రహాల గ్రహణాలని పరిశీలించిన రోమర్‌కి కూడా ఈ సంగతి తెలుసు.

గ్రహాలలోకెల్లా అతి దూరంలో నున్నది చిన్నారి గ్రహమైన ప్లూటో[2]. సూర్యుడి నుండీ భూమి దూరానికి ప్లూటో దూరం 40 రెట్లు ఉంటుంది. అంటే సూర్యుడి నుండీ బయలుదేరిన కిరణానికి భూమి కక్ష్యని దాటడానికి పట్టే సమయం కన్నా ప్లూటో కక్ష్యని దాటడానికి పట్టే సమయం 40 రెట్లు ఎక్కువగా ఉంటుంది.

ఇక తారల మాటేమిటి?

తారలు మన నుండి ఎంత దూరంలో ఉన్నాయంటే వాటి దూరాలని కొలవడానికి “కాంతి సంవత్సరం” అనే కొత్త కొలమానాన్ని వాడితే సౌకర్యంగా ఉంటుంది.

ఒక ఏడాదిలో కాంతి ప్రయాణించే దూరాన్ని కాంతిసంవత్సరం అంటారు. అది ఎంత దూరమో లెక్కించాలంటే ఏడాదిలో ఎన్ని సెకనులు ఉన్నాయో లెక్కించాలి.

నిముషంలో 60 సెకనులు, గంటకి 60 నిముషాలు ఉన్నాయి. అలాగే రోజుకి 24 గంటలు. అంటే రోజుకి 86,400 సెకనులు. ఏడాదికి 365.2422 రోజులు కనుక ఏడాదిలో 3,15,56,926 సెకనులు ఉంటాయి.

అన్ని సెకన్లలో కాంతి ప్రయాణించే దూరం విలువ = 1,86,282.3959 × 3,15,56,926 = 58,78,49,97,76,000 మైళ్ళు. అంటే కాంతి సంవత్సరం విలువ సుమారు అరవై వేల కోట్ల మైళ్లు (లేదా 6 ట్రిలియన్ మైళ్ళు[3]).

కాబట్టి ఒక కాంతి సంవత్సరం విలువ చంద్రుడికి భూమికి మధ్య దూరం కన్నా 2.5 కోట్ల రెట్లు ఎక్కువ. భూమి నుండి చంద్రుడిని చేరుకోడానికి మన వ్యోమగాములకి మూడు రోజులు పడుతుంది. అదే వేగంతో ఒక కాంతిసంవత్సరం అంత దూరాన్ని దాటడానికి రెండు లక్షల ఏళ్లు పడుతుంది.

మరో విధంగా చెప్పాలంటే ఒక కాంతిసంవత్సరం అంటే ప్లూటో కక్ష్య వ్యాసం కన్నా 1600 రెట్లు పెద్దది.

ఇప్పుడిక తారల దూరాలని పరిశీలిద్దాం.

---

*2. ప్లూటోని ఇప్పుడు గ్రహంగా పరిగణించటంలేదు. 2006లో దాన్నొక లఘుగ్రహంగా ప్రకటించారు. – అనువాదకుడు.*

*3 ట్రిలియన్ = 1,000,000,000,000, అంటే లక్ష కోట్లు, 1 బిలియన్ అంటే వంద కోట్లు, 1 మిలియన్ అంటే పది లక్షలు.*

మనకి అతిదగ్గర తార పెద్దగా ప్రకాశం లేని ఓ మినుకుమినుకు తార. దాని పేరు ప్రాక్సిమా సెంటారీ (Proxima Centauri). అది మన నుండి 4.27 కాంతిసంవత్సరాల దూరంలో ఉంది. అంటే సుమారు 2,50,000 కోట్ల మైళ్ల దూరం అన్నమాట. అంతకన్నా దగ్గర్లో మరో తార లేదు. అంటే ప్రాక్సిమా సెంటారీ నుండి బయలుదేరిన కాంతి మనను చేరుకోడానికి 4.27 ఏళ్లు (అంటే 4 సంవత్సరాల 99 రోజులు) పడుతుంది. భూమి నుండి చంద్రుడి దాకా 1.25 సెకన్లలో వెళ్లే కాంతి ప్రాక్సిమా సెంటారీని చేరడానికి నాలుగేళ్లకి పైగా తీసుకుంటుంది.

ఆకాశంలో అత్యంత ప్రకాశవంతమైన తార అయిన సిరియస్ (Sirius) మన నుండి 8.64 కాంతిసంవత్సరాల దూరంలో ఉంది. ప్రాక్సిమా సెంటారీ కన్నా రెండు రెట్లు అన్నమాట.

ఓరియాన్ రాశిలో ఉన్న రైజెల్ (Rigel) అనే తార మన నుండీ 815 కాంతి సంవత్సరాల దూరంలో వుంది. సిరియస్ ఉన్న దూరం కన్నా ఇది 95 రెట్ల దూరంలో ఉంది. ఈ సారి ఎప్పుడైనా మీరు రైజెల్ తారని చూస్తున్నప్పుడు ఒక విషయం గుర్తుంచుకోవాలి. ఆ కాంతి ఆ తార వద్ద నుండి బయలుదేరినప్పటికి భూమి మీద కాకతీయులు పరిపాలిస్తూ ఉండేవారు!

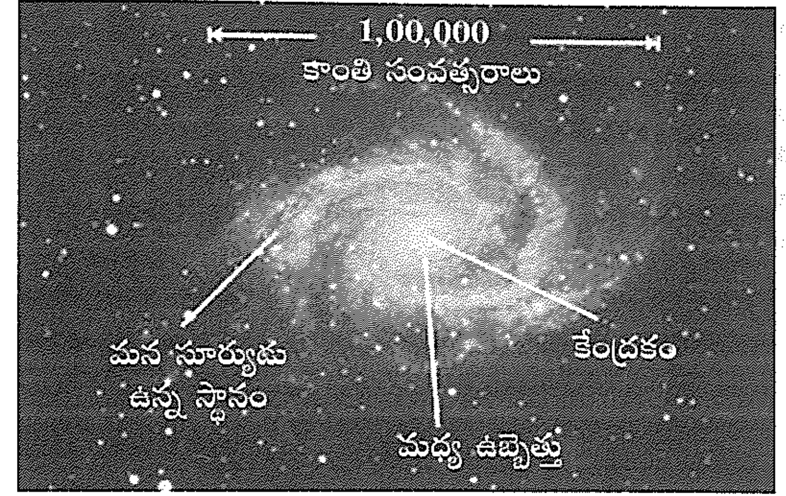
అంత దూరంలో వున్న రైజెల్ తార కూడా విశాల విశ్వంలో మన పరిసర ప్రాంతంలోనే ఉందని చెప్పాలి.

సూర్యుడు, ఇంకా మనకి ఆకాశంలో కనిపించే ఎన్నో తారలు ఓ ప్రత్యేకమైన తారా సందోహానికి చెందుతాయి. అందులో సుమారు ఇరవై వేల కోట్ల తారలు ఉన్నాయి. దాని పేరు పాలపుంత (Milky Way). అది ఓ "ఇడ్లీ" ఆకారంలో ఉంటుంది! ఇలాంటి విశాలమైన తారా సందోహాలని గెలాక్సీలు అంటారు.

మనం ఉండే ఈ పాలపుంత గెలాక్సీకి మనం కేంద్రం వద్ద లేము. అసలు కేంద్రానికి దరిదాపుల్లో కూడా లేము. మనం ఆకాశంలో చూసే ఎన్నో తారలు గెలాక్సీ కేంద్రం నుండి 25,000 కాంతి సంవత్సరాల దూరంలో ఉన్నాయి. గెలాక్సీ కేంద్రం నుండి వచ్చే కాంతి మనకి ఇక్కడికి పెద్దగా కనిపించదు. ఎందుకంటే గెలాక్సీ కేంద్రానికి మనకి మధ్య విస్తారమైన నల్లని ధూళి మేఘాలు అడ్డుతెరలా ఉన్నాయి. అయితే ఆ తెరని కూడా రేడియో తరంగాలు భేదించగలవు. ఆ విధంగా మనకి గెలాక్సీ కేంద్రం గురించి తెలుస్తుంది.

గెలాక్సీ కేంద్రం నుండి వచ్చిన రేడియో తరంగాలు మరి 25,000 ఏళ్ల క్రితం అక్కడినుంచి బయలుదేరాయి అన్నమాట. అప్పటికి ఇంకా భూమి మీద మానవులు






నాగరికులు కాలేదు.

మొత్తం పాలపుంత గెలాక్సీని ఒక కొస నుండి అవతలి కొస వరకు పరిగణిస్తే లక్ష కాంతిసంవత్సరాల వెడల్పు ఉంటుంది. అంటే మన గెలాక్సీని ఒక కొస నుండి అవతలి కొస వరకు దాటడానికి కాంతికి లక్ష సంవత్సరాలు పడుతుంది.

విశ్వంలో ఉన్నది కేవలం మన గెలాక్సీ మాత్రమే కాదు. ఇలాంటి గెలాక్సీలు కొన్ని వందల కోట్లు ఉన్నాయి. వాటిలో కొన్ని మన కన్నా చిన్నవైతే మరి కొన్ని మన కన్నా చాలా పెద్దవి.

మన పొరుగున ఉన్న ఒక పెద్ద గెలాక్సీ పేరు ఆండ్రోమెడా గెలాక్సీ. నిర్మలమైన చీకటి ఆకాశంలో ఆండ్రోమెడా రాశిలో దీన్ని ఓ చిన్న తెల్లని మచ్చలాగా చూడొచ్చు. పరికరాలు లేకుండా సూటిగా కంటితో చూడగల అత్యంత దూరమైన వస్తువు ఇదే.

అది మన నుండి 23,00,000 కాంతిసంవత్సరాల దూరంలో ఉంది. మీరు ఆండ్రోమెడా గెలాక్సీని చూస్తున్నట్టయితే ఆ కాంతి అక్కణ్ణుంచి 23,00,000 సంవత్సరాల క్రితం బయలుదేరి ఉంటుంది. అంటే ఆధునిక మానవుడు ఇంకా పుట్టని యుగం అన్నమాట. అప్పటికి భూమి మీద జీవించే అత్యంత అభ్యున్నతి గల జీవులు ప్రస్తుతం దక్షిణ ఆఫ్రికాలో జీవించే పిగ్మీల లాంటి జీవులు అన్నమాట. వీళ్లు పట్టున నాలుగు అడుగుల ఎత్తు కూడా ఉండరు.

ఆండ్రోమెడాకి అవల ఇంకా ఎన్నో గెలాక్సీలు ఉన్నాయి. శక్తివంతమైన దూరదర్శినులతో చూస్తున్నప్పుడు కొన్ని వేల లక్షల కాంతిసంవత్సరాల దూరంలో

తెల్లని మచ్చల్లాగా ఎన్నో గెలాక్సీలు కనిపిస్తాయి.

1963లో శాస్త్రవేత్తలు కొన్ని తారల్లాంటి వస్తువులు కనుక్కున్నారు. తారల లాంటివి కాబట్టి వాటిని quasi-stellar (stellar = తార; quasi = సదృశమైన, పోలిన) వస్తువులు అని పేరు పెట్టారు. ఈ quasi-stellar నే కుదించి quasar (క్వాసార్)లు అని పిలిచారు. ఇవి అత్యంత ప్రకాశవంతమైన కేంద్రాలు గల గెలాక్సీలు. అంత దూరంలో మనకి కేవలం ఆ ప్రకాశవంతమైన కేంద్రాలు మాత్రమే కనిపిస్తాయి.

ఈ క్వాసార్లు మనకి తెలిసిన అత్యంత సుదూరమైన వస్తువులు. మనకి అతి దగ్గరి క్వాసార్ కూడా 100,00,00,000 (వంద కోట్ల) కాంతిసంవత్సరాల దూరంలో ఉంది. మనం అలాంటి క్వాసార్‌ని ఎప్పుడైనా దూరదర్శినిలో చూస్తున్నప్పుడు ఆ కాంతి అక్కడినుంచి బయలుదేరినప్పటికి భూమి మీద కేవలం ఏకకణ జీవులు ఉండేవని గుర్తుంచుకోవాలి. సముద్రాలలో మరి కాస్త సంక్లిష్టమైన జీవాలు పరిణామం చెంది ఆ జీవాలు నెమ్మదిగా నేల మీద అడుగుపెడుతున్న కాలానికి ఆ కాంతి తన యాత్రలో 3/5 వంతు పూర్తి చేసి ఉంటుంది. ఆ కాంతి 9/10 వంతు యాత్ర పూర్తి చేసినప్పటికి భూమి మీద డైనోసార్లు సంచరించేవి. ఆ కాంతి 96% యాత్ర పూర్తి చేసిన కాలానికి భూమి మీద మనిషి ఆవిర్భవించాడు.

ఇదంతా కేవలం అతి దగ్గర్లో ఉండే క్వాసార్ల సంగతి. మనకి తెలిసి అతి దూరంలో ఉన్న క్వాసార్లు 1000,00,00,000 (వెయ్యి కోట్ల) కాంతి సంవత్సరాల దూరంలో ఉన్నాయి. అక్కడినుంచి కాంతి బయలుదేరిన కాలానికి సూర్య చంద్రులు అసలు లేనే లేరు.

ఆ కాంతి తన యాత్రలో సగం దూరం ప్రయాణించే సరికి సౌర మండలం రూపొందడం ఆరంభించింది.

దీన్ని బట్టే విశ్వం ఎంత పెద్దదో అర్థమవుతుంది. భూమి స్థాయిలో దూరాలని పరిగణిస్తే కాంతి చాలా వేగంగా ప్రయాణిస్తున్నట్టు ఉంటుంది. కాని విశాల విశ్వంతో పోలిస్తే కాంతి నెమ్మదిగా పాకుతోందని అర్థం చేసుకోవాలి.

మరి విశ్వంలో ఒక చోటి నుండి మరో చోటికి వెళ్లడానికి వందల కోట్ల సంవత్సరాలు పడితే ఇక ఏమనుకోవాలి?

## సాపేక్షతా సిద్ధాంతం - కాంతి వేగం

శాస్త్రవేత్తలు కాంతి వేగాన్ని కొలుస్తున్నప్పుడు వారికి కేవలం ఓ ప్రత్యేకమైన రాశిని కొలవాలన్న ఉత్సుకత తప్ప ప్రత్యేకమైన లక్ష్యం అంటూ ఏమీ లేదు. శబ్ద



వేగాన్నో, ఓ గుర్రం వేగాన్నో కొలిచినట్టే ఇదీ అన్నట్టు భావించారు.

కాని మిగతా వేగాలలా కాకుండా కాంతి వేగానికి ఓ ప్రత్యేకత ఉందని అప్పుడు వారికి తెలియదు.

కాంతి అనేది ఒక తరంగం అన్ని అందరూ ఒప్పుకున్న తరువాత అది "దేని తరంగం?" అన్న ప్రశ్న సహజంగా ఉద్భవించింది.

చెరువులో నీటి ఉపరితలం మీద అలలు పుడతాయి. అవి నీటి తరంగాలు. అలాగే శబ్ద తరంగాలు గాలిలో ప్రయాణించే తరంగాలు, అవి గాలి కదలికల తరంగాలు. కాని కాంతి శూన్యంలో కూడా ప్రయాణిస్తుంది. శబ్దం గాని, నీటి అలలు గాని పదార్థ మాధ్యమంలో ప్రసారం అయ్యే తరంగాలు. కాంతికి అలాంటి పదార్థ మాధ్యమం అవసరం లేనట్టు కనిపిస్తోంది. మరి కాంతి ఎలా ప్రసారం అవుతోంది?

విశ్వమంతా ఓ అస్పర్శమైన పదార్థం వ్యాపించి వుందని ప్రాచీనులు భావించారు. ఆ పదార్థానికి "ఈథర్" (ether)[4] అని పేరు పెట్టారు. ఈ ఈథర్‌లోని తరంగాలే కాంతి అని భావించారు.

దీంతో మరో ఆసక్తికరమైన వాదం బయలుదేరింది. అది వస్తువుల చలనానికి సంబంధించినది.

చలనాన్ని నిర్ధారించడానికి నిశ్చలంగా ఉన్న ఒక ప్రమాణం కావాలి. ఒక వస్తువు కదులుతోంది అని చెప్పాలంటే కదలకుండా ఉన్న మరో వస్తువు ఉండాలి. కదలని వస్తువు బట్టి మరో వస్తువు కదులుతోందని చెప్పగలం.

భూమి ఉపరితలం మీద ఏదైనా వస్తువు కదులుతోంది అని మనం అంటున్నప్పుడు నిశ్చలంగా ఉన్న భూమి ఉపరితలాన్ని ప్రమాణంగా తీసుకుంటాం.

కాని నిజానికి భూమి ఉపరితలం కదులుతోంది. ఎందుకంటే భూమి తన అక్షం మీద అది తిరుగుతోంది. అంతే కాక భూమి సూర్యుడు చుట్టూ కూడా తిరుగుతోంది. అలాగే సూర్యుడు కూడా పాలపుంత కేంద్రం చుట్టూ కదులుతున్నాడు. అసలు పాలపుంత గెలాక్సీయే విశాల విశ్వంలో కదులుతోంది.

ఇలా ఆలోచిస్తూ పోతుంటే అన్నీ కదులుతున్నట్టు అనిపిస్తుంది. విషయం గందరగోళంగా కనిపిస్తుంది.

---

*4. రసాయన శాస్త్రంలోని "ఈథర్"కి ఈ "ఈథర్"కి మధ్య సంబంధం లేదని గమనించాలి. - అనువాదకుడు.*

వస్తువులు ఎలా కదులుతున్నా ఈ ఈథర్ మాత్రం ఎప్పుడూ నిశ్చలంగా ఉంటుందని కొంత మంది తలపోశారు. కాబట్టి ఈథర్ స్థితి "నిరపేక్ష నిశ్చల స్థితి" (absolute rest). ఇక మిగతా చలనాలు అన్నిటినీ నిశ్చలమైన ఈథర్ బట్టి నిర్వచించవచ్చు కాబట్టి వాటన్నిటినీ నిరపేక్ష చలనాలు (absolute motion) అని చెప్పుకోవచ్చు.

కాంతి వేగాన్ని కొలవడానికి ప్రయత్నించిన మికెల్సన్‌కి తన ప్రయోగం వల్ల మరో విషయం కూడా తెలుస్తుంది అనిపించింది. నిశ్చలమైన ఈథర్ బట్టి భూమి ఎంత వేగంతో కదులుతోందో తెలుసుకోవచ్చు అనుకున్నాడు.

భూమి ఎలా కదిలినా అది నిశ్చలమైన ఈథర్ బట్టి కదులుతూ ఉండాలని భావించాడు మికెల్సన్. భూమి మీద ఒక చోట ఓ కాంతి పుంజాన్ని పంపించి దాని వేగాన్ని కొలిచారు అనుకోండి. కాంతి అనేది ఈథర్ తరంగం అనుకున్నాం కాబట్టి అది నిశ్చలమైన మాధ్యమంలో ప్రసారం అవుతోంది. భూమి కదిలే దిశ కాంతి కదిలే దిశతో సమానం అయితే కాంతి పుంజం యొక్క వేగం కాంతి యొక్క సహజ వేగానికి భూమి వేగం తోడైనంత కావాలి. అలా కాకుండా భూమి, కాంతి పుంజం వ్యతిరేక దిశలలో ప్రయాణిస్తున్నట్టయితే కాంతి పుంజం వేగం కాంతి సహజ వేగం నుండి భూమి వేగం తీసేసినంత కావాలి.

అలా రెండు వ్యతిరేక దిశలలో కొలిచినప్పుడు కాంతి వేగంలోని భేదాల బట్టి భూమి నిరపేక్ష వేగాన్ని నిర్ధారించొచ్చు. భూమి వేగం నిరపేక్షంగా తెలిస్తే భూమిని బట్టి మిగత వస్తువుల వేగాలని నిర్ధారించవచ్చు.

అయితే ఒకటి. కాంతి వేగంతో పోలిస్తే భూమి వేగం అత్యల్పం. కాబట్టి కాంతి వేగం నుండి భూమి వేగం తీసేసినా, దాన్ని కలిపినా పెద్ద తేడా వుండదు. మరి కాంతి వేగంలో భూమి వేగం పాలుని ఎలా కనిపెట్టగలం?

ఈ సమస్యని తేల్చడానికి 1881లో మికెల్సన్ interferometer అనే ఓ పరికరాన్ని నిర్మించాడు. ఆ పరికరంలో ఒక కాంతి పుంజం రెండుగా చీల్చబడి, ఆ పుంజాలు రెండూ వేరు వేరు దిశలలో పంపబడి, మళ్లీ ఒక దగ్గరికి చేర్చబడతాయి.

చీల్చబడ్డ కాంతి పుంజంలో ఒక అంశం ఒక దిశలో భూమి చలన దిశలోనే ప్రయాణిస్తే, తిరుగు ప్రయాణంలో భూమి చలన దిశకి వ్యతిరేక దిశలో ప్రయాణిస్తుంది. కాంతి పుంజంలోని రెండవ అంశం రాను, పోను మార్గాలు రెండిట్లోను భూమి చలన దిశకి లంబంగా ప్రయాణిస్తుంది.

ఈ పరికరాన్ని రూపొందించడంలో మికెల్సన్ ఉద్దేశం ఇది. ఈథర్ నిశ్చలంగా



ఉండి, భూమి కదులుతున్నట్లయితే, కాంతి పుంజంలోని అంశాలు తిరిగి మొదటి స్థానానికి వచ్చాక రెండు తరంగాలలో తేడా ఉంటుంది.

రెండు తరంగాలు కొన్ని చోట్ల ఒకదాన్నొకటి సంవర్ధనం చేసుకుంటాయి. అలాంటి చోట్ల కాంతి మరింత ప్రకాశవంతంగా ఉంటుంది. కొన్ని చోట్ల ఒకదాన్నొకటి నిరోధించుకుంటాయి. ఒకదాన్నొకటి వమ్ము చేసుకుంటాయి. అలాంటి చోట్ల కాంతి మరింత బలహీనంగా ఉంటుంది.

కాబట్టి రెండు పుంజాలు కలిసే చోట తెర మీద చిత్రాన్ని చూస్తే అది తెలుపు నలుపుల రేఖావిన్యాసంలా ఉంటుంది. అలంటి రేఖలనే interference fringes (వ్యతికరణ చారలు) అంటారు. ఆ చారల మందాన్ని బట్టి కాంతి పుంజాల వేగాలలోని భేదాన్ని లెక్కించొచ్చు. అలాగే భూమి నిరపేక్ష వేగాన్ని కూడా లెక్కించొచ్చు.

1887కల్లా మికెల్సన్ తను ఊహించిన ప్రయోగానికి సంబంధించిన లెక్కలన్నీ పూర్తి చేసి సిద్ధంగా ఉన్నాడు. ఎడ్వర్డ్ విలియమ్స్ మార్లే (1838–1923) అనే మరో శాస్త్రవేత్తతో కలిసి ప్రఖ్యాత "మికెల్సన్–మార్లే ప్రయోగాన్ని" చెయ్యడానికి ఆయత్తం అయ్యాడు.

తీరా ప్రయోగం చేసి చూడగా ప్రయోగం విఫలమైనట్టు తోచింది. అనుకున్నట్టుగా వ్యతికరణ చారలు కనిపించలేదు. ఏ దిశలో చూసినా కాంతి ఒకే వేగంతో ప్రయాణిస్తున్నట్టు కనిపించింది. అది ఎలా సాధ్యమో ఎవరికీ అర్థం కాలేదు. మికెల్సన్ ఆ ప్రయోగాన్ని పదే పదే చేసి చూశాడు. ఎన్ని సార్లు చేసినా ఫలితం ఒకటే. చారలు లేవు. అన్ని దిశలలో కాంతి వేగం ఒక్కటే.

నిజానికి మికెల్సన్–మార్లే ప్రయోగాన్ని గత నూరేళ్లలో ఎన్నో సార్లు చేసి చూశారు. పందొమ్మిదవ శతాబ్దంలో మికెల్సన్ వాడిన పరికరాల కన్నా ఎంతో సునిశితమైన పరికరాలతో ప్రయోగాలు చేశారు. పరికరాలు మారాయిగాని ఫలితాలు మారలేదు. కాంతి ఏ దిశలో కదిలినా, భూమి ఎటు కదిలినా, ఎంతలా కదిలినా, కాంతి వేగం మాత్రం ఒక్కటే!

ఇలా విషయం ఎటూ తేలకుండా ఉన్న తరుణంలో 1905లో ఆల్బర్ట్ ఐన్‌స్టయిన్ (1879–1955) అనే జర్మన్–స్విస్ శాస్త్రవేత్త రంగప్రవేశం చేశాడు. ఐన్ స్టయిన్ "సాపేక్ష సిద్ధాంతం" (theory of relativity) అనే కొత్త సిద్ధాంతాన్ని ప్రతిపాదించాడు. ఈ సిద్ధాంతం సహాయంతో చలనాన్ని ఓ కొత్త కోణం నుండి చూడడానికి వీలయ్యింది. ఐన్‌స్టయిన్ నిరపేక్షమైన చలనం, నిరపేక్షమైన నైశ్చల్య స్థితి అనేవి లేనే లేవన్నాడు. ఒక వస్తువు చలనం గురించి మరో వస్తువుని బట్టి వర్ణించడానికి వీలవుతుంది

గాని, ఏ వస్తువుతోనూ ప్రమేయం లేకుండా నిరపేక్షంగా వర్ణించడానికి వీల్లేదన్నాడు.

ఆ సమయంలో అతడు మికెల్సన్-మార్లే ప్రయోగం సమస్యని పరిష్కరించడానికి ప్రయత్నించడం లేదు. బహుశ అతడు ఆ ప్రయోగం గురించి వినే ఉండక పోవచ్చు. వేరే కారణాల వల్ల అతడికి కాంతి శూన్యంలో ఎప్పుడూ ఒకే వేగంతో ప్రయాణిస్తుందని అనిపించింది. కాంతి చలన దిశ ఏదైనా, దాన్ని పుట్టించే కాంతిజనకం కదులుతున్నా లేకున్నా, కాంతి మాత్రం శూన్యంలో ఎప్పుడూ ఒకే వేగంతో ప్రయాణిస్తుంది. ఒక విధంగా శూన్యంలో కాంతి వేగం నిరపేక్షమైనది.

కాని ఆ నిరపేక్షం అనే ప్రత్యేక హోదా కాంతికి మాత్రమే చెల్లుతుంది. ఇక తక్కిన వస్తువుల చలనాలు సాపేక్షాలు. ఒక వస్తువు చలనాన్ని మరో వస్తువుకి సాపేక్షంగానే వర్ణించగలం. ఒక్క కాంతి మాత్రమే ప్రత్యేకం. ఇది మన సామాన్య లౌకిక అవగాహన (common sense)కి విరుద్ధంగా ఉంది. అందుకే మొదట్లో చాలా మంది ఐన్‌స్టయిన్ పొరబడి ఉంటాడని అనుకున్నారు.

కాంతి తీరు అలా ప్రత్యేకంగా ఉన్నట్లయితే దానికి ఎన్నో విచిత్రమైన పర్యవసానాలు ఉంటాయని ఐన్‌స్టయిన్ గణితపరంగా నిరూపించాడు. తదనంతరం ఐన్‌స్టయిన్ ఊహించిన పర్యవసానాలన్నీ నిజమేనని ప్రయోగాలలో తెలిసింది.

1905నుండి శాస్త్రవేత్తలు సాపేక్ష సిద్ధాంతాన్ని పరీక్షించేందుకు వేలాది ప్రయోగాలు చేశారు. ప్రతీ ప్రయోగం, ప్రతీ పరిశీలన ఐన్‌స్టయిన్ సిద్ధాంతం సరైనదని సమర్థించింది.

ఐన్‌స్టయిన్ సాపేక్ష సిద్ధాంతం ప్రసాదించిన విశ్వదర్శనం నిజమని ఇప్పుడు వైజ్ఞానిక లోకం ఒప్పుకుంటోంది.

కాంతి "క్వాంటం సిద్ధాంతం"ని అనుసరించి ప్రవర్తిస్తుందని కూడా ఐన్‌స్టయిన్ నిరూపించాడు. ఈ క్వాంటం సిద్ధాంతాన్ని మొట్టమొదట ప్రతిపాదించి రూపొందించిన వాడు జర్మన్ శాస్త్రవేత్త మాక్స్ ప్లాంక్ (1858-1947). ప్లాంక్ ఈ సిద్ధాంతాన్ని 1900లో లోకానికి పరిచయం చేశాడు. కాంతికి తరంగ లక్షణాలే కాక, కణ లక్షణాలు కూడా ఉన్నాయని ఐన్‌స్టయిన్ ప్రతిపాదించాడు. అందుకే ఏ మాధ్యమమూ లేని శూన్యంలో ప్రసారం అవుతోంది అన్నాడు. దాంతో ఈథర్ అవసరం తీరిపోయింది. లేదా అది అనవసరం అని తేలింది. మికెల్సన్-మార్లే ప్రయోగం ఎందుకు విఫలమయ్యిందో అర్థమయ్యింది.

క్వాంటం సిద్ధాంతంలో ప్లాంక్ సాధించిన కృషికి అతడికి 1918లో నోబెల్ బహుమతి లభించింది. అదే రంగంలో ఐన్‌స్టయిన్ సాధించిన విజయాలకి అతడికి



1921లో నోబెల్ పురస్కారం లభించింది.

ఐన్‌స్టయిన్ సిద్ధాంతానికి పర్యవసానంగా మరో విషయం కూడా బయటపడింది. ద్రవ్యరాశి గల ఏ వస్తువూ కాంతి కన్నా వేగంగా ప్రయాణించలేదని ఆ సిద్ధాంతం చెపుతుంది. అంతేకాక కాంతి కన్నా వేగంగా ఏ సందేశాలని పంపడానికి వీల్లేదని తెలిసింది.

అంత వరకు భౌతిక శాస్త్రంలో ఉండే ఎన్నో స్థిరాంకాలలో మరో స్థిరాంకంగా పరిగణించబడే కాంతి వేగం ఓ ప్రత్యేకమైన ప్రాముఖ్యతని సంతరించుకుంది. అదొక విశ్వజనీనమైన వేగమితి (speed limit)గా పరిణమించింది. ఆ పరిమితిని భేదించడానికి ఎవరి తరమూ కాదు.

అంతవరకు మానవ చరిత్రలో మనుషులు ఇంకా ఇంకా దూరాలు చూడగలిగారంటే, సంచరించగలిగారంటే దానికి కారణం వాళ్లు ఇంకా ఇంకా ఎక్కువ వేగాలు సాధించగలగడమే. ఒకప్పుడు మనుషులు కాలినడకన నెమ్మదిగా ప్రయాణించేవారు. మనిషి గుర్రాల పెంపకం నేర్చుకున్నాక ఆ వేగం పెరిగింది. అలాగే ఓడలు, పెట్రోల్ వాహనాలు, విమానాలు, రాకెట్లు – ఇలా ఎన్నో విధాలుగా వేగాన్ని మానవులు పెంచుతూ పోతున్నారు.

మొదట్లో మనుషులకి ఖండాలు, సముద్రాలు దాటడానికి నెలలు పట్టేది. అది క్రమంగా వారాలకి, రోజులకి, ప్రస్తుతం గంటలకి దిగింది. మూడు రోజుల్లో చందమామని చేరుకోగలిగే స్థితికి మనిషులు వచ్చారు.

ఇలాగే మనుషులు వేగాన్ని పెంచుతూ పోతే ఒక దశలో మనకి అతి దగ్గరి తారని మూడు రోజుల్లో చేరుకోగలరా?

లేదు. అది సాధ్యం కాదు. 4.27 ఏళ్ల కన్నా తక్కువ కాలంలో మనిషులు మనకి సమీపతమ తారని చేరుకోలేరు. ఆ తారని చేరుకుని తిరిగి రావాలంటే 8.54 సంవత్సరాల కన్నా తక్కువ కాలంలో సాధ్యం కాదు.

కాబట్టి రైజెల్ తారని చేరుకోడానికి 815 ఏళ్ల కన్నా ఎక్కువ కాలమే పడుతుంది. అలాగే ఆ తారకి వెళ్ళి తిరిగి రావాలంటే 1630 ఏళ్ల కన్నా ఎక్కువే పడుతుంది. ఏం చేసినా ఇంత కన్నా తక్కువ సమయంలో ప్రయాణం పూర్తి చెయ్యడం సాధ్యం కాదు.

అలాగే గెలాక్సీ కేంద్రాన్ని చేరుకోవాలంటే 25,000 ఏళ్ల కన్నా తక్కువ కాలంలో చేరుకోవడం సాధ్యం కాదు. అలాగే ఆండ్రోమెడా గెలాక్సీ ని 23,00,000 ఏళ్ళ కన్నా తక్కువ కాలంలో చేరలేం. అదే విధంగా అతి దగ్గరి క్వాసార్‌ని వంద కోట్ల ఏళ్ళ లోపు చేరలేం.

అయితే ఒకటి. ఐన్‌స్టయిన్ సిద్ధాంతం మరో విచిత్రమైన సత్యాన్ని కూడా ప్రకటిస్తుంది. వేగం పెరుగుతున్న కొద్దీ అలా వేగంగా కదులుతున్న వస్తువు మీద, లేదా ఆ వాహనంలో కాలం నెమ్మదిస్తుంది అని చెపుతుంది. ఇక కాంతి వేగానికి సమీప వేగంలో ప్రయాణించగలిగితే కాలం ఇంచుమించుగా స్థంబించిపోతుంది. మీరు ఇంచుమించు కాంతి వేగంతో రివ్వున మనకి అతి దగ్గరిలో వున్న క్వాసార్ దాకా వెళ్లి అదే వేగంతో తిరిగి రాగలిగితే మీకు మాత్రం ఆ ప్రయాణం లిప్తలో జరిగిపోయినట్టు ఉంటుంది. కాని మీరు తిరిగి వచ్చేసరికి భూమి మీద రెండు వందల కోట్ల ఏళ్ళు గడచిపోయి ఉంటాయి.

ఈ కారణం వల్ల విశ్వం పర్యటన తీరుతెన్నులు పూర్తిగా మారిపోయాయి. తారలని చేరాలని బయలుదేరితే మాత్రం ఇక మానవజాతికి శాశ్వతంగా వీడ్కోలు చెప్పాల్సి ఉంటుందేమో. ఎందుకంటే కాంతి వేగంలో కనీసం పదో వంతు వేగంతో ప్రయాణించలేకపోతే, తీరా తారని చేరేసరికి అసలు మనం ఉంటామో లేదో సందేహమే.

గెలీలియో నుండి మికెల్సన్ వరకు కాంతి వేగాన్ని కొలవడానికి పూనుకున్న మహామహులకి వాళ్లు కొలుస్తున్నది మనని శాశ్వతంగా ఈ సౌరమండలానికే కట్టిపడేసే కారాగార కటకటాలని తెలియదు పాపం!